



RWS INFORMATIE

De invloed van riviereigenschappen op de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes op de oevers van de Waal

Onderzoek op kribben en binnen kribvakken



Auteur Nick Geurkink
Datum 18-01-2023

Colofon

Onderzoeksrapport	Rijkswaterstaat Oost-Nederland
Auteur	Nick Geurkink
Studentennummer	1017004
E-mail	nick.geurkink@wur.nl nick.geurkink@outlook.com
Instituut	Rijkswaterstaat Oost-Nederland
Adres	Eusebiusbuitensingel 66, 6828 HZ Arnhem
Supervisor	Margriet Schoor
E-mail	margriet.schoor@rws.nl
Bijdrager	Madelief Logtenberg
Educatie	Urban Environmental Management
Universiteit	Wageningen University & Research (WUR)
Adres WUR	Droevendaalsesteeg 2, 6708 PB, Wageningen
Supervisor WUR	Miriam van Eekert
E-mail	miriam.vaneekert@wur.nl
Datum	18-01-2023

Voorwoord

Ik wil Margriet Schoor, de supervisor vanuit Rijkswaterstaat, bedanken voor alle hulp die ik van haar heb gekregen en alle energie die ze in dit onderzoek heeft gestopt. Verder wil ik Madelief Logtenberg bedanken voor haar hulp tijdens het veldwerk en haar bijdrage aan dit onderzoek door middel van enkele visualisaties. Bovendien wil ik Miriam van Eekert bedanken voor haar prettige begeleiding vanuit Wageningen University & Research. Ook wil ik Frank Collas bedanken voor zijn onmisbare hulp bij de statische analyses. Daarbij wil ik ook Martijn Hereijgers en Jan Tervoort bedanken voor hun steun en advies. Als laatste wil ik de NOV-afdeling, Rita Lammersen, de gemeentes Lingewaard, Berg en Dal, Zevenaar en LANUV bedanken voor hun kennis en wil om bij te dragen aan dit onderzoek.

Summary

The aim of this research was to gather more information about the influence of local river characteristics on the spatial distribution of sanitary wet wipes in the Waal at different circumstances (discharge, accumulation processes). Due to the low water level, it was possible to identify two processes separately in which river characteristics influences the spatial distribution of sanitary wet wipes. On one hand, factors that influences the deposition and mobilisation of sanitary wet wipes within groyne fields could be identified without the effect of vegetation. On the other hand, factors that influences the distribution of sanitary wet wipes at high water levels could be identified by counting the wipes that were caught within vegetation on the groynes. Fieldwork was executed to determine the concentrations sanitary wet wipes for each location. Afterwards, an explorative factor analysis was performed in R Statistics.

Both the research of the groynes for high water levels as the research of the groyne fields, showed a significant higher number of sanitary wet wipes on the left riverbank compared to the right riverbank. The influence of local combined sewer overflows could almost certainly be excluded. It is expected that navigation traffic could be the reason for the significant difference on the riverbank, although this could not be proven in this research. Within the groyne fields on the right riverbank, significant lower concentrations sanitary wipes were found on the upstream location compared to the other locations. Circulation flow patterns within groyne field could be possible explanation for this result.

The research of the groynes resulted in a significant positive correlation between the amount of blackberry bushes and the concentration sanitary wet wipes. High numbers of sanitary wet wipes were only found between blackberry bushes, although those bushes did not guarantee high numbers of sanitary wet wipes. An interaction between 'Riverbank', 'Bend' and 'location within bend' was found for the analysis of the groynes at high water levels. Significant differences of concentration sanitary wet wipes within the bends could probably be connected to secondary circulation streams and the corresponding natural sedimentation and erosion processes of the bends.

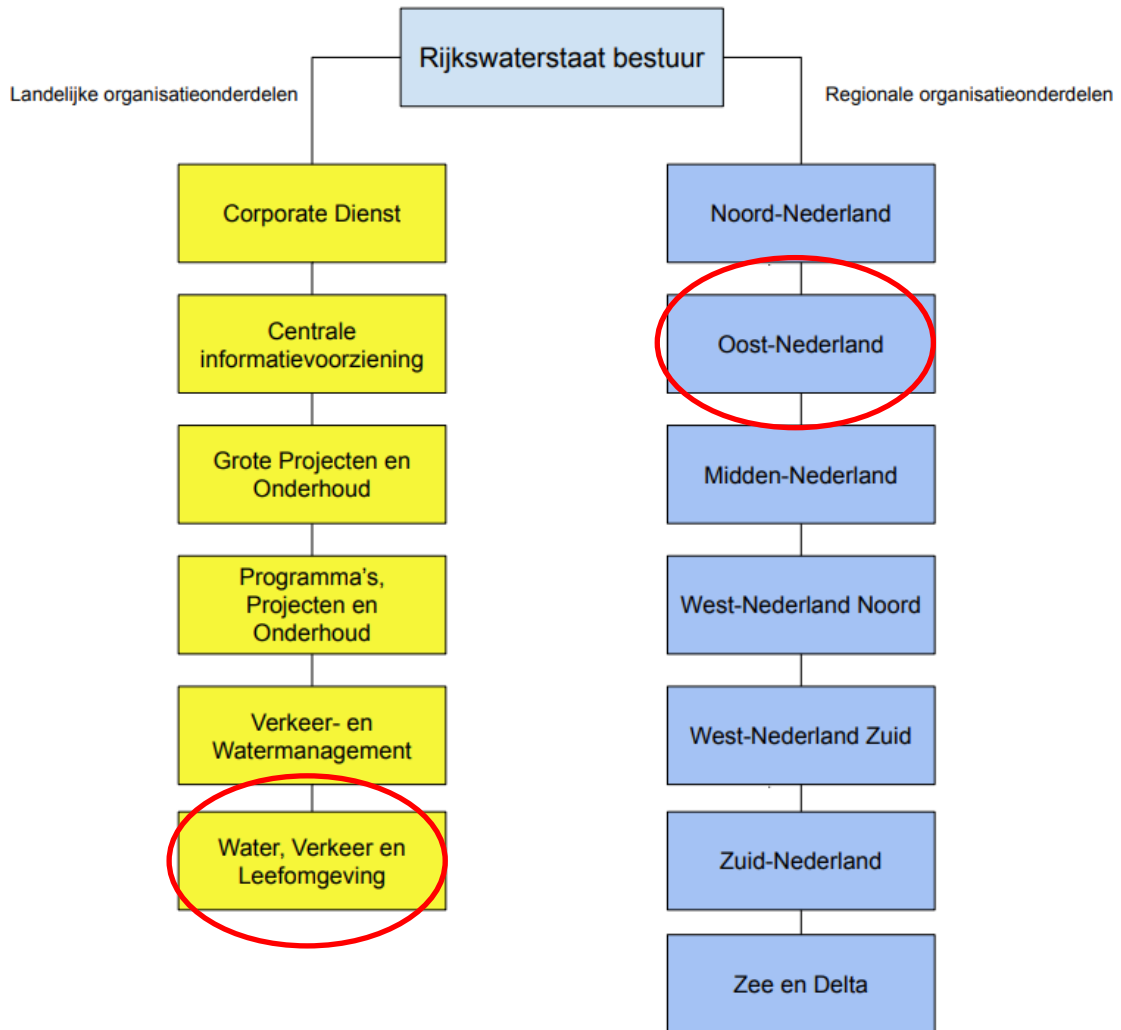
The influence of river bends and water levels on the concentration sanitary wet wipes within groyne fields could not be demonstrated. Additional and repeatable research within short term are required to completely exclude the influence of the above mentioned variables.

Achtergrond stagebureau Rijkswaterstaat

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en onder begeleiding van Rijkswaterstaat. Het onderzoek is uitgevoerd bij Rijkswaterstaat Oost-Nederland op de afdeling Netwerkontwikkeling & Visie in team Ecologie.

Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. De organisatie werkt dagelijks aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland en is verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van rijkswegen, -vaarwegen en -wateren. Rijkswaterstaat zorgt voor schoon en voldoende water, goede bereikbaarheid en bescherming tegen hoogwater in Nederland. Samen met burgers, bedrijven, kennisinstututen, provincies en gemeentes werkt Rijkswaterstaat ook aan een duurzame leefomgeving door te letten op geluid- en luchtvervuiling, herbruikbaar asfalt, klimaatadaptatie en ecologische programma's.

Er werken ruim 9000 medewerkers bij Rijkswaterstaat. De organisatie bestaat uit een bestuur, landelijke organisatieonderdelen en regionale organisatieonderdelen. Het landelijk onderdeel houdt zich bezig met wetenschappelijke kennis en beleid en de uitvoering van landelijke bedrijfsvoering. Regionale onderdelen zijn verantwoordelijk voor de taken van Rijkswaterstaat binnen de eigen provincies. De landelijke en regionale organisatieonderdelen zijn weer opgedeeld in directies, afdelingen en teams.



Figuur A: Organisatiestructuur Rijkswaterstaat. De rode cirkels zijn de relevante organisatieonderdelen van dit onderzoek. Overgenomen van Rijkswaterstaat (z.d.).

Het huidige onderzoek is uitgevoerd bij het regionale organisatieonderdeel Oost-Nederland (ON). Zij zijn verantwoordelijk voor droge voeten, voldoende en schoon water, vlot en veilig verkeer over weg en water, en betrouwbare informatie in Overijssel en Gelderland. Binnen Oost-Nederland zijn er drie directies: Directie Bedrijfsvoering, Directie Netwerkmanagement en Directie Netwerkontwikkeling. Onder de directie Netwerkontwikkeling (NO) vallen weer vijf afdelingen, waaronder de afdeling Netwerkontwikkeling & Visie (NOV) waar het huidige onderzoek is uitgevoerd. De directie Netwerkontwikkeling van Oost-Nederland is verantwoordelijk voor (netwerk)ontwikkeling en levert inhoudelijke bijdrage aan vraagformulering. De afdeling NOV ontwikkelt en draagt bij aan regionale Rijkswaterstaat-netwerkbeheervisie, geeft antwoord op politiek en bestuurlijke vraagstukken over de visie en levert beleidsondersteuning en advies. In de praktijk betekent dit dat er ook dat er veel onderzoek gedaan wordt.

Het huidige onderzoek is uitgevoerd onder begeleiding van team Ecologie, een van de acht teams binnen de afdeling NOV-ON. Dit team is onder andere verantwoordelijk voor waterkwaliteitsbeheer. Vanuit deze taak is de vraag naar inzicht in waterkwaliteit in de regio ontstaan. Hieruit zijn verschillende regionale onderzoeken opgestart, waaronder onderzoek naar plastic afval in de rivieren van Oost-Nederland. De onderzoek naar plastic in rivieren zijn gefinancierd door Rijkswaterstaat en de Europese Unie.

Het landelijke organisatie onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) zorgt landelijk voor de uitvoerbaarheid van beleid en voor de kennis en strategie die Rijkswaterstaat en beleidsmakers nodig hebben. De afdeling Afval en Circulair is binnen WVL het kenniscentrum over circulaire economie en afval. Zij zijn onder andere verantwoordelijk voor de aanpak van zwerfafval. Dit wordt gedaan door onderzoek te doen naar de hoeveelheid en samenstelling van plastic, door riviermonitoring uit te voeren en bronaanpak te realiseren.

Hoewel het huidige onderzoek vanuit regionaal oogpunt is gestart en ondersteund, draagt dit onderzoek bij aan de monitoringsstrategie van het landelijke organisatie onderdeel WVL. Regelmatig zijn er overleggen tussen NOV-ON en WVL waarbij eigen initiatieven vanuit WVL worden gestimuleerd. Door onderzoek te doen over regionaal situaties, in dit geval rondom plastics, kan landelijk beleid beter worden bepaald en verfijnd.

Alle bovenstaande informatie is te vinden op [Rijkswaterstaat.nl](https://www.rijkswaterstaat.nl) (Rijkswaterstaat, z.d.) of het rijksportaal van de overheid (niet openbaar).

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Summary	4
Achtergrond stagebureau	5
Introductie	8
Doel	9
Onderzoeksvragen:	9
Theoretische achtergrond	11
Hydromorfologische processen in Nederlandse rivieren.....	11
Stroming in bochten van natuurlijke rivieren.....	11
Effecten van kribben op stroming en sedimenttransport	12
Invloed van scheepvaart.....	14
Ruimtelijke verplaatsing van afval door rivieren	15
De Waal (onderzoeksgebied)	17
Methode	19
Onderzoeksgebied	19
Veldwerkmethode.....	20
Oevermetingen.....	20
Onderzoeksmethode	21
Resultaten	24
Resultaten sanitaire doekjes binnen kribvakken	24
Resultaten sanitaire doekjes op kribben bij hoogwater	27
Discussie	30
Mogelijke verklaringen voor de ruimtelijke verdelingen	30
Limitaties & aanbevelingen	34
Conclusie	36
Literatuurlijst.....	37

Introductie

In de afgelopen jaren is de (potentiële) negatieve impact van zwerfafval, voornamelijk in de vorm van plastic, in rivieren en maritieme wateren steeds duidelijker geworden (van Emmerik & Vriend, 2021). De aanwezigheid van zwerfafval resulteert op termijn in directe en indirecte ecologische en economische schade (McIlgorm et al., 2011). Plastic heeft een negatieve invloed op organismen in aquatische systemen door een verandering van de bodemmorfolgie (de Souza Machado et al., 2019). Daarbij hebben chemicaliën en toxische stoffen die vrijkomen uit plastics invloed op het milieu (Issac & Kandasubramanian, 2021). Verder kan plastic inname, of verstikking door plastic, leiden tot (fatale) schade bij diverse soorten vis en vogels (Thompson, 2015). Bovendien wordt plastic zwerfafval afgebroken tot onzichtbare microplastics. Hoewel de gevolgen van microplastics nog niet volledig duidelijk zijn, worden microplastics wel in hoge percentages in ecosystemen en menselijke voedselketens aangetroffen (Kosuth, Mason, & Wattenberg, 2018)(Windsor et al., 2019)(Thompson, 2015). Door directe en indirecte gevolgen van plastic, zoals opruimkosten, schade aan maritieme industrieën en daling van economische mogelijkheden, kan de economische schade wereldwijd oplopen tot miljarden per jaar (McIlgorm et al., 2011).

Verscheidende initiatieven en projecten rondom monitoring van rivieroevers hebben ervoor gezorgd dat de omvang van het afvalprobleem in de Nederlandse rivieren steeds beter zichtbaar is geworden (van Emmerik & Vriend, 2021). Schone Rivieren, een initiatief van IVN Natuureducatie, Stichting De Noordzee en Plastic Soup Foundation, refereerde eerder dit jaar nog naar Nederland als het afvalputje van Noordwest-Europa, doelend op de grote rivieren die uitmonden aan de Nederlandse kust (H2O Actueel, 2022).

Vanuit Europa en de Nederlandse overheid zijn er in 2018 maatregelen genomen om zwerfafval, en de bijbehorende risico's voor mens, dier en milieu, te reduceren (Ministerie van Algemene Zaken, 2022b; Europees Parlement, 2018). In 2019 heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ingezet op een brede aanpak van zwerfafval, waaronder de aanpak van plastic in de Nederlandse rivieren (Ministerie van Algemene Zaken, 2022b; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021b). Rijkswaterstaat is sindsdien onder andere verantwoordelijk voor het onderzoeken van de hoeveelheid en samenstelling van zwerfafval in de rivieren, het ontwikkelen van monitoringsstrategieën voor zwerfafval en het uitvoeren van bronaanpak (Rijkswaterstaat, z.d.). Tot op heden is data en informatie over de ruimtelijke verspreiding en de herkomst van het afval in de Nederlandse rivieren beperkt en wordt er in diverse onderzoeken gewerkt om deze data en informatie te verkrijgen. Rijkswaterstaat deelt het afval in deze onderzoeken op in drie verschillende compartimenten: drijvend afval, afval op de oevers en afval in de waterkolom (Rijkswaterstaat, 2019). Op deze manier wordt er gehoopt beter inzicht te krijgen in de factoren die invloed hebben op de verspreiding van de verschillende soorten afval om zo monitoringsstrategieën te kunnen bepalen en verfijnen. Monitoringsstrategieën kunnen vervolgens bijdragen aan het aanpakken van afval aan de bron en het bepalen of die aanpak leidt tot vermindering van de hoeveelheid afval.

In 2021 en 2022 is er vanuit Rijkswaterstaat onderzoek gedaan naar de kwantiteit en de samenstelling van zwerfafval in de waterkolom uit de Rijn bij Lobith. Door te vissen met speciale kornetten werd bepaald dat de concentratie sanitair afval, en met name sanitaire doekjes, in de Rijn opvallend hoog is (6,5% sanitaire doekjes in 2021, 3,8% in 2022) tussen het diverse afval (Rus, 2022). Afvalonderzoek van rivierwater met behulp van ankerkuilvisserij in de Waal bij Tiel in 2020, gaf een vergelijkbaar percentage sanitaire doekjes in september 2020 (4,1%) en zelfs 16,8% in oktober 2020 (Collas et al., 2021). Tegelijkertijd werd er in een andere studie langs de Waal onderzoek gedaan naar de distributie van afval op korte termijn door binnen een kribvak, de ruimte tussen kribben, afval te monitoren en te analyseren (Grosfeld, 2022). Ook bij deze studie viel op hoe hoog het percentage (70%) sanitaire doekjes was ten opzichte van ander afval. Opmerkelijk is dat de hoeveelheid sanitair afval, en dus ook sanitaire doekjes, in veel hogere concentraties voorkomen in de Rijn ten opzichte van de Maas (Hop, 2022; Tervoort, 2023).

Sanitaire doekjes zijn (vaak synthetische) vochtige vezeldoekjes die voor hygiënische en huishoudelijke doeleinden worden gebruikt. In dit rapport zijn sanitaire doekjes geïnclassificeerd als vochtig toiletpapier, schoonmaakdoekjes (voor toiletzittingen), make-up doekjes en baby doekjes (Evenblij et al., 2007). Jarenlang vermeldden producenten dikwijls dat deze doekjes door het toilet gespoeld mochten worden, terwijl dit tot ernstige problemen leidt (Vierwind, 2021). Sanitaire doekjes zijn meestal niet afbreekbaar en vallen niet uiteen zoals toiletpapier. Hierdoor ontstaan er veel problemen in gevoelige procesonderdelen van riolen en waterzuiveringen (rwzi's) zoals pompen of beluchtingselementen (Evenblij et al., 2007). Tegelijkertijd komen sanitaire doekjes bij

hevige regenval via gemengde riooloverstorten in oppervlakte wateren terecht wat leidt tot milieuvervuiling. In 2019 bleek uit een peiling dat ongeveer 1,5 miljoen mensen wel eens vochtig toiletpapier door te spoelen (H2O Netwerk, 2019).

Sinds 2021 is de regelgeving aangescherpt en zijn producenten verplicht om markeringsvoorschriften te gebruiken als het product plastic bevat en worden producenten verantwoordelijk gehouden voor het bijdragen aan vermindering van het zwerfafval (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021a; Ministerie van Algemene Zaken, 2022a). Tegenwoordig wordt er steeds meer vochtig toiletpapier gemaakt dat 'doorspoelbaar' en biologisch afbreekbaar zou zijn. Milieu Centraal en Rioned, de koepelorganisatie voor stedelijk waterbeheer in Nederland, bevestigen dat bepaalde producenten aanpassingen hebben gemaakt waardoor het afvalwatersysteem dit vochtige toiletpapier wel kan verwerken. Dit geldt echter alleen voor vochtig toiletpapier waarbij de verpakking een specifiek logo van een toilet bevat. Andere soorten vochtig toiletpapier kunnen leiden tot verstoppingen in tegenstelling tot wat er op de verpakking staat (RIONED, 2019; Milieu Centraal, z.d.). Schone rivieren pleit voor een eenduidige regelgeving waarin in ieder geval alle sanitaire wegwerpdoekjes van of met synthetische vezels worden verboden (Schone Rivieren, 2020).

De verwachting is dus dat sanitaire doekjes voornamelijk via het riool in de rivieren terechtkomen. De sanitaire doekjes worden langs de oevers en in het rivierwater gevonden, maar door de unieke eigenschappen van deze doekjes ten opzichte van lichter plastic is het onduidelijk hoe de ruimtelijke verspreiding precies plaatsvindt. Doordat het onbekend is hoe de sanitaire doekjes zich gedragen in de rivier is het ook moeilijk om vast te stellen waar de doekjes precies vandaan komen. Lokale overstorten lijken logische entrepunten, maar ook schepen en overstorten verder stroomopwaarts kunnen in theorie flink bijdragen aan de gevonden sanitaire doekjes in en rond de Waal.

Doel

Het doel van dit onderzoek is om meer te weten te komen over de invloed van lokale riviereigenschappen (oeverkant, bocht etc.) op de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes in de Waal bij verschillende toestanden (afvoeren, aanspoelprocessen). Door bij laagwater binnen een specifieke tijdseenheid te kijken naar de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes binnen kribvakken, kan worden onderzocht welke lokale riviereigenschappen invloed hebben op depositie- en mobilisatieprocessen van sanitaire doekjes op de oevers zonder dat vegetatie deze hydrologische processen beïnvloedt. Tegelijkertijd kunnen de factoren die invloed hebben op de verspreiding van sanitaire doekjes bij hoogwater worden verklaard door te kijken naar de door vegetatie ingevangen sanitaire doekjes op de kribben.

Een voorgaand onderzoek van Lorraine Minnaar (2022), waarbij binnen kribvakken zowel op de zandbanken als tussen de vegetatie onderzoek is gedaan, toonde aan dat sanitaire doekjes vooral aan de linkeroever en in de binnenbochten van de rivier aanspoelen en ophopen. Ondanks dat het onderzoek door de invloed van vegetatie niet te vergelijken is met het huidige onderzoek, is het interessant om te kijken of dezelfde patronen ook in dit onderzoek gevonden worden.

Door te achterhalen welke factoren een belangrijke rol spelen bij de verspreiding van de doekjes wordt bijgedragen aan de kennis over de fysische eigenschappen van de sanitaire doekjes en de interactie met verschillende hydrologische processen van de rivier. Deze kennis kan worden gebruikt voor monitoring om vervolgens de bronnen van de doekjes te achterhalen door systematische maatregelen te nemen. Het achterliggende hoofddoel is om te voorkomen dat sanitair afval in de Nederlandse rivieren terecht komt door bronnen doelgericht aan te pakken.

Onderzoeksvragen:

De hoofdvraag is:

Welke lokale riviereigenschappen zijn van invloed op de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes op de oevers van de Waal in een volledige bocht?

Deelvragen:

1. Wat is de ruimtelijk verdeling van aangespoelde sanitaire doekjes binnen kribvakken en welke lokale riviereigenschappen verklaren deze verdeling?

2. Wat is de ruimtelijk verdeling van in vegetatie gevangen sanitaire doekjes op kribben bij hoogwater en welke lokale riviereigenschappen verklaren deze verdeling?
3. Welke hydrologische en rivierkundige processen kunnen gerelateerd worden aan de ruimtelijke patronen van sanitaire doekjes?
4. Hoe verschilt de verdeling tussen de gevonden sanitaire doekjes op de kribben en de kribvakken met de bijbehorende processen?

Theoretische achtergrond

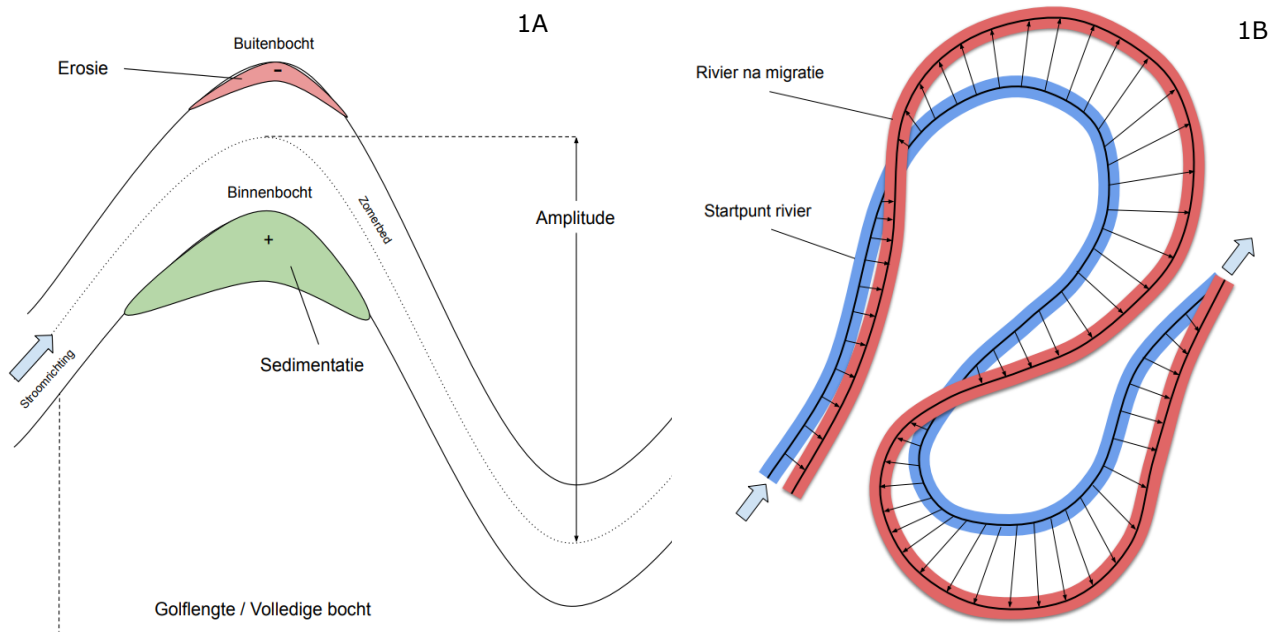
Om te kunnen bepalen welke factoren invloed zouden kunnen hebben op de verspreiding van sanitaire doekjes door de Waal is het essentieel om te weten welke hydromorfologische processen een rol kunnen spelen en hoe (plastic) objecten zich door de rivier bewegen. Daarbuiten is het ook van belang om de specifiek kenmerken van de Waal mee te nemen in het onderzoek.

Hydromorfologische processen in Nederlandse rivieren

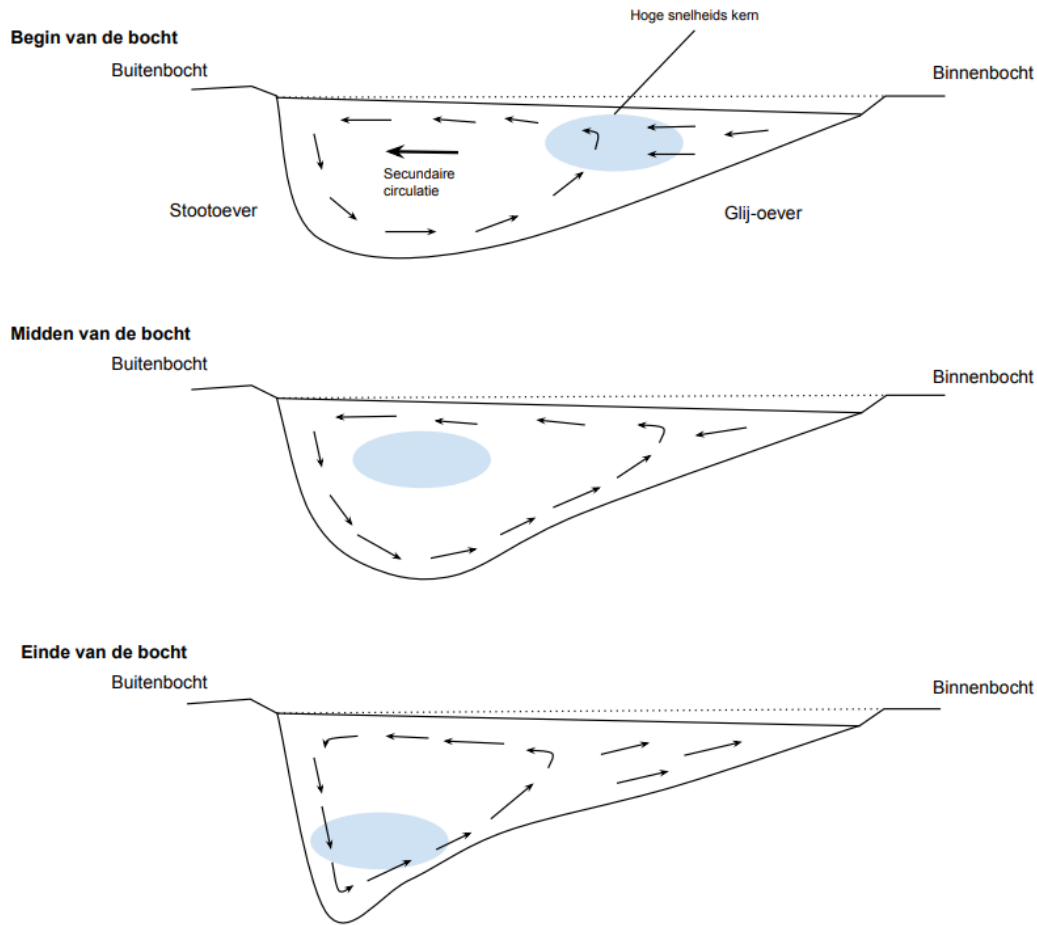
Stroming in bochten van natuurlijke rivieren

Nederlandse rivieren zijn van oorsprong meanderend met verschillende en unieke bochtamplitudes en kromtestralen. Rivieren meanderen als een gevolg van complexe interacties tussen rivierstroming, bodemsediment, oevermateriaal, vegetatie en reliëf (Kasvi et al., 2017). Een rechte stroming kan door een object, een ongelijke verdeling van sedimentgrootte of bodemvormen leiden tot afbuiging en afwisselende dynamische stromingen (Rhoads & Welford, 1991). Verschillen in bodemreliëf en stroomrichtingen resulteren in turbulentie en ruimtelijke variabiliteit van stroomsnelheden (Kasvi et al., 2017). Deze processen zorgen voor oevererosie en sedimentatie waardoor krommingen in de rivier kunnen ontstaan. De sinusvormige bochten zorgen ervoor dat de ongelijke verdeling van snelheden, erosie en sedimentatie verstrekt wordt waardoor rivieren steeds verplaatsen en verder afbuigen (figuur 1A).

De stroomsnelheid van een meanderende rivierbocht is ongelijk verdeeld. Kort gezegd ligt de stroomsnelheid in de buitenbocht hoger dan in de binnenbocht. Aan het begin van de bocht bevindt zich de kern van de sterkste stroming nabij de binnenbocht en verplaatst deze geleidelijk langs de buitenbocht vanwege de vorm van de rivier (figuur 2). Hoe de bocht precies begint hangt af van de geomorfologie stroomopwaarts en kan dus erg variëren per locatie. De sterke stroming in de buitenbocht zorgt voor een verhoogde waterspiegel in de buitenbocht (superelevation) waardoor er een neerwaartse stroom ontstaat die naar binnen is gericht en bij de binnenbocht opwaarts stroomt. Dit heet secundaire circulatie (Bathurst, et al., 1979) of spiraalstroming. Door het verschil in stroomsnelheid erodeert de buitenbocht en ontstaat afzetting door sedimentatie in de binnenbocht (figuur 1A). Hierdoor bestaat een meanderende bocht uit een glij- en stootoever.



Figuur 1A: Meanderende rivier als gevolg van oevererosie en sedimentatie, gebaseerd op Kasvi et al., (2017). Figuur 1B: Voorbeeld van de ontwikkeling van een rivier over tijd. Een balans tussen kromming (amplitude) en benedenstroomse verplaatsing (migratie). Aangepast overgenomen uit Sylvester et al. (2019).



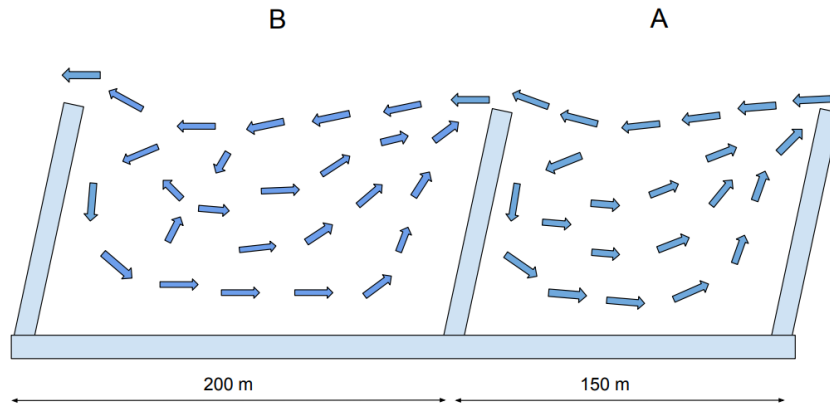
Figuur 2: Secundaire circulatie van rivieren, aangepast overgenomen uit Kasvi et al. (2017).

De glij-oever loopt langzaam en geleidelijk van de binnenbocht richting de buitenbocht, terwijl de stootoever steil naar beneden en extra diep loopt (Kasvi et al., 2017).

Recent onderzoek van Sylvester et al. (2019) laat zien dat rivieren niet exact aan de piek van de kromming omhoog verplaatsen (figuur 1A), zoals lang werd gedacht, maar benedenstrooms van de bocht verplaatsen (figuur 1B). Verder zorgen scherpere bochten voor een hoge erosiesnelheid wat positief in verband staat met de migratiesnelheid.

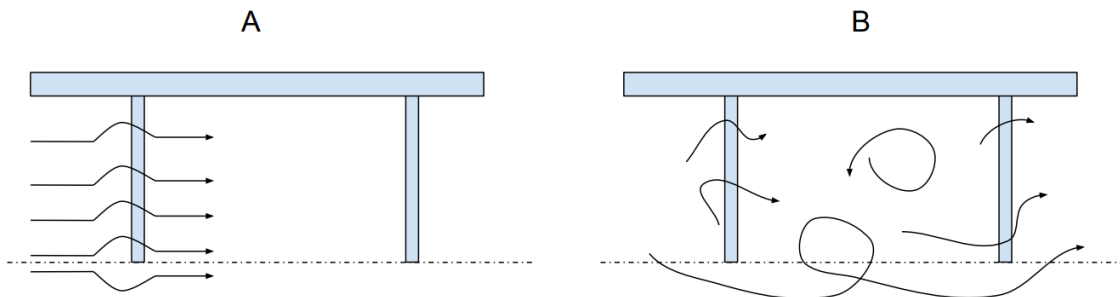
Effecten van kribben op stroming en sedimenttransport

In veel Nederlandse rivieren bevinden zich tegenwoordig kribben om ervoor te zorgen dat de rivieren via een uniforme verdeling stromen door het zomerbed. Dit betekent dat de rivierstromingen naar het midden worden gedwongen met als doel om erosie te voorkomen om zo de rivier op zijn plek te houden en de diepte van de vaargeul voor schepen te behouden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2001). Om het juiste effect in de rivier te krijgen zijn dimensies, oriëntatie en onderlinge afstanden in het ontwerp van de kribben cruciaal (Yossef, 2002). De kribben zorgen ervoor dat de rivier nauwer wordt en daarmee de stroomsnelheid toeneemt (Yossef, 2002). Door deze maatregelen verandert ook de stroming in de ruimte tussen de kribben, een kribvak genoemd. Binnen deze kribvakken ontstaan recirculatie stromingen door interactie met de hoofdstroom die afhangen van de dimensies en de oriëntatie van de kribben (Sukhodolov et al., 2002).



Figuur 3: Rivierstromingen circulaties binnen kribvakken. Twee circulaties (B) en één circulatie (A). Overgenomen uit ten Brinke (2003).

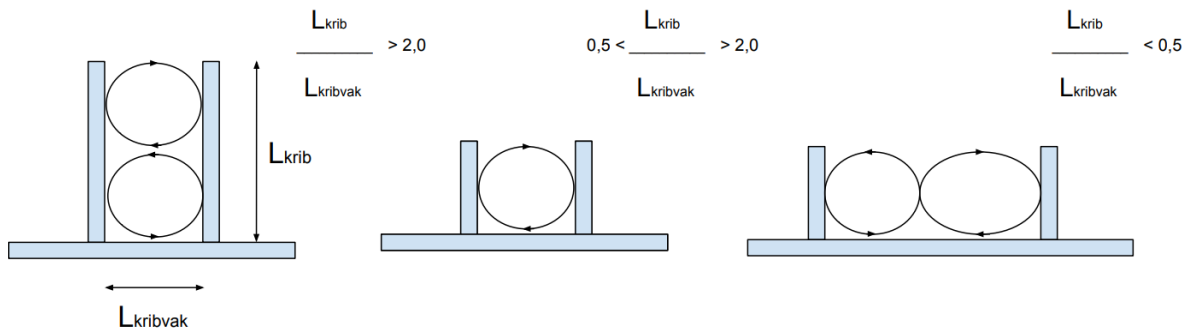
Wanneer de kribben onder water staan veranderen de stromingspatronen binnen de kribvakken. Bij zeer hoge waterstanden blijven stromingspatronen ter hoogte van de kribben redelijk gelijk, terwijl de stroming over de kribben stationair is en bijna volledig evenwijdig aan de kribben stroomt. Als de kribben iets verzonken zijn ontstaat er een dynamisch stromingsveld dat voornamelijk bepaald wordt door de circulatiepatronen (Uijttewaal, 2005).



Figuur 4: Stromingspatronen bij verzonken kribben (A) en licht verzonken kribben (B). Aangepast overgenomen uit Uijttewaal (2005).

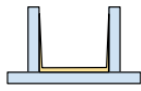
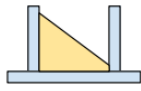
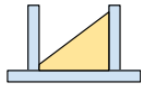
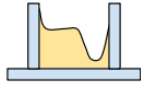
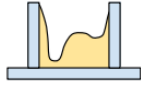
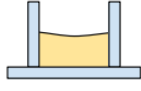
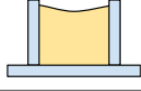
De kribben en de recirculatie van rivierstromingen binnen kribvakken hebben ook invloed op de erosie en sedimentatie van de rivier. Specifieke eroderende en afzettende processen die kenmerkend zijn voor kribvakken zorgen voor specifieke morfologische patronen aan de rivieroever binnen de kribvakken. Sukhodolov et al. (2002) classificeren de morfologische patronen en verklaren de vorming van rivierbeddingen binnen kribvakken aan de hand van de geometrie van de kribvelden (figuur 6).

Meerdere factoren spelen een rol in de vorming van patronen. Echter, hoe de rivierbedding in het kribvak eruit komt te zien, wordt voornamelijk bepaald de ratio tussen de lengte van de kribben en de afstand tussen twee kribben (figuur 5).



Figuur 5: Circulatiepatronen op basis van ratio tussen lengte krib en kribvak. Overgenomen uit Sukhodolov et al. (2002).

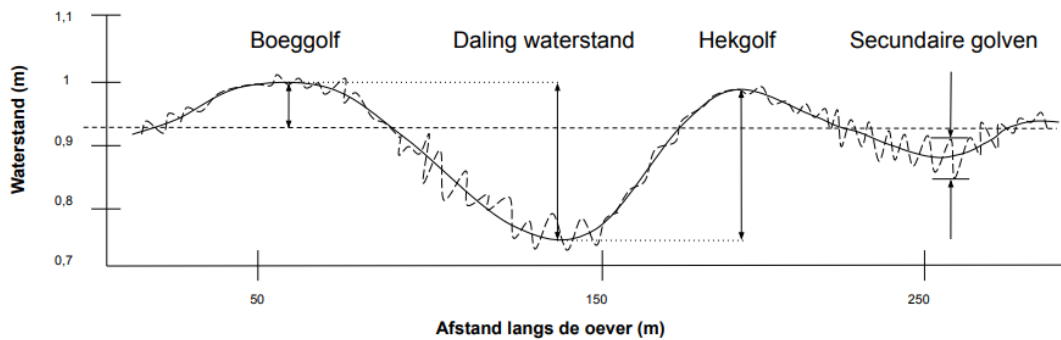
Wanneer een rivier langs de punt van een krib stroomt, worden bepaalde rivierstromen afgestopt wat resulteert in circulatiepatronen boven- en benedenstrooms van het krib (ten Brinke, 2003). Uit het onderzoek blijkt dat de bovengenoemde ratio bepaalt of er één circulatie of twee circulatiepatronen ontstaan in de stroming binnen het kribvak. Eén circulatiepatroon ontstaat wanneer de ratio tussen de lengte van het krib en de afstand tussen de kribben kleiner is dan de kritieke waarde van 0,5 ($L_{krib}/L_{kribvak} < 0,5$), terwijl twee circulatie patronen ontstaan wanneer de ratio groter is ($L_{krib}/L_{kribvak} > 0,5$). Veldonderzoek heeft laten zien dat één circulatie zorgt voor een meer gelijkvormige verdeling van fijne sedimentafzetting in het hele kribvak, terwijl twee circulatiepatronen zorgen voor een veel complexere verdeling (figuur 6) (Sukhodolov et al., 2002).

Klasse	Definitie	Patroon
1	Zwakke depositie	
2	Benedenstrooms triangelvormige depositie	
3	Bovenstrooms triangelvormige depositie	
4	Benedenstrooms golfvormige depositie	
5	Bovenstrooms golfvormige depositie	
6	Uniforme gedeeltelijke depositie	
7	Uniforme complete depositie	

Figuur 6: Kribvakclassificatie op basis van morfologische patronen. Overgenomen uit Sukhodolov et al. (2002).

Invloed van scheepvaart

Varende schepen hebben ook invloed op de rivier en de oevers doordat schepen golfslag en stroming opwekken. Voornamelijk volbeladen schepen zorgen voor hevige verplaatsing van het water wat effect heeft op de vorming van de rivieroevers (ten Brinke, 2003). De golven kunnen opgedeeld worden in primaire en secundaire golfslag (ten Brinke, 2003). Wanneer een schip vaart stuwt de boeg als eerste water op, wat zorgt voor een golf (boeggolf). Vervolgens ontstaat er een waterspiegeldaling aan de zijkant van het schip. Het verschil in waterstand resulteert erin dat er stroming plaatsvindt. De waterspiegeldaling zorgt ervoor dat er water uit kribvakken wordt gezogen, genaamd de volgstroom, om het verschil in waterstand langs natuurlijke weg te compenseren. Tegelijkertijd keert het opgestuwde water van de boeggolf ook terug om precies hetzelfde te doen, dit wordt de retourstroom genoemd. Als laatste zorgt ook het hek, de achterkant van het schip, voor een golf (hekgolf). De boeggolf, daling van de waterstand en de hekgolf worden de primaire golven genoemd en hebben het meeste effect op het sediment binnen de kribvakken. De secundaire golven zijn korte golven die naast en vlak achter het schip die ontstaan door drukverschillen op de romp van het schip.



Figuur 7: Invloed van een passerend schip op de waterstand. Aangepast overgenomen uit ten Brinke (2003).

Door de aanwezigheid van de scheepvaart neemt de stroomsnelheid tussen de kribben aan de kant van de rivier lijkt erg toe, terwijl de stroomsnelheid binnen het kribvak aan de oeverkant lijkt af te nemen (ten Brinke, 2003).

De invloed van de scheepvaart op sedimentatie in kribvakken is minder groot in bochten dan op rechte delen van de rivier. Dit komt omdat schepen voornamelijk in de buiten bochten varen waar de stroomsnelheid het hardst is. In de binnenbocht zijn veel minder sterke stromingen, maar de schepen varen doorgaans ver van de binnenbocht af.

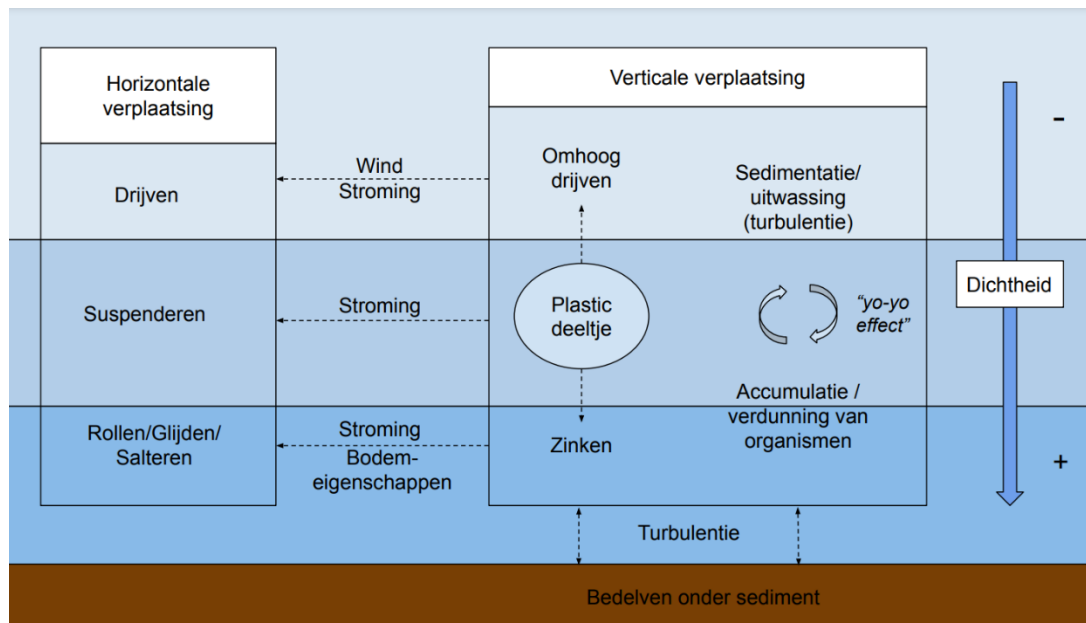
Het verschil in lading van schepen die stroomopwaarts (zwaar beladen) en stroomafwaarts (nauwelijks beladen) varen leiden tot een sterkere erosie van kribvakstranden langs de zuidoever. Ook de korrelgrootte blijkt door het verschil in belanden scheepvaart fijner te zijn aan de linkeroever dan aan de rechteroever (ten Brinke, 2003).

Ruimtelijke verplaatsing van afval door rivieren

De dynamiek van de verplaatsing van afval door rivieren is complex en kan erg variëren binnen rivieren door verschillende karakteristieke eigenschappen van plastics en wisselende omgevingsomstandigheden (Al-Zawaidah et al., 2021).

De bron van plastic in rivieren kan direct worden gerelateerd aan menselijke activiteit. Er worden wereldwijd sterke correlaties gevonden tussen plastic in de rivier en populatiedichtheid, verstedelijking, afvalwaterzuiveringen en afval management (Best, 2019). Via deze menselijke activiteit komt plastic via dumpingen of natuurlijke processen, zoals wind en oppervlakte afvoer van regenwater, in de rivier terecht (Emmerik & Schwarz, 2019). In het geval van sanitair afval lijkt hevige regenval een belangrijke rol te kunnen spelen. De verwachting is dat sanitair afval voornamelijk via gemengde riooloverstorten in de Nederlandse rivieren terecht komt. Deze overstorten treden enkel in werking wanneer het riool de hoeveelheid huishoudelijke afvalwater en regenwater niet meer kan afvoeren (Brombach et al., 2005).

Binnen de rivier wordt plastic stroomafwaarts getransporteerd, maar vinden ook allerlei processen plaats die ervoor zorgen dat plastics niet alleen in de oceaan, maar ook op land langs de rivier terecht komen (ter Halle et al., 2016; Emmerik & Schwarz, 2019). Naast stroomafwaarts transport worden macroplastics ook afgebroken tot kleinere stromen plastic (micro- en nanoplastics) of accumuleren de plastics ergens in of rond de rivier (Emmerik & Schwarz, 2019). Binnen het transport van plastic kan er onderscheid gemaakt worden tussen horizontale en verticale verplaatsing binnen de rivier (zie figuur 8). Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op de ruimtelijke verspreiding van plastic afval. Welke omgevingsfactoren (wind, stroming en bodemeigenschappen) invloed hebben op de horizontale verspreiding hangt af van de mate waarin plastic drijft of zinkt, de verticale verspreiding. Het drijfvermogen van het plastic samen met de stroomsnelheid van de rivieren bepalen hoofdzakelijk de verticale verspreiding (Al-Zawaidah et al., 2021). De mate waarin een object zinkt of drijft hangt voornamelijk af van de dichtheid, grootte, vorm en oppervlaktestructuur (Vella, 2015). Daarnaast hebben ook de eigenschappen van stromingen (bijv. turbulentie) en hydromorfologische interacties (bijv. steile bodemhellingen) invloed op die verticale verspreiding (Al-Zawaidah et al., 2021).



Figuur 8: Horizontale en verticale verplaatsing van plastic in rivieren. Aangepast overgenomen van Al-Zawaidah et al. (2021).

Een hoge stroomsnelheid zorgt voornamelijk voor een snelle horizontale verplaatsing terwijl een lage stroomsnelheid ervoor zorgt dat verticale verplaatsing plaats kan vinden. Turbulentie kan zorgen voor een verticale verplaatsing doordat sediment (klei) aan plastic hecht, resulterend in afval dat zinkt. Tegelijkertijd kan turbulentie ook weer leiden tot het wegspoelen van sedimentatie waardoor een "yo-yo" effect kan ontstaan (Al-Zawaidah et al., 2021).

Turbulentie langs de oever of op de rivierbodem kan ervoor zorgen dat plastic wordt bedolven onder sediment. Hoe lang plastic opgeslagen blijft in het sediment is afhankelijk van de locatie binnen de rivier. Hoge depositie waarden van mineralen en organisch sediment in combinatie met lage stroomsnelheden zorgen voor een verhoogde kans op (tijdelijke) opslag van het afval in de bodem. Grote veranderingen van de afvoer kunnen dit proces creëren of versterken (Liro et al., 2020). Het zomerbed van de Nederlandse rivieren verplaatst jaarlijks met een snelheid van ca. 1,0 km per jaar (Sieben, 2008), waardoor de verwachting is dat plastic daar alleen tijdelijk opgeslagen blijft of met het sediment wordt verplaatst. In het geval van hoge natuurlijke depositie en lage stroomsnelheid kan plastic wel voor onbepaalde tijd worden opgeslagen in rivierbeddingen (van Emmerik et al., 2022). Grosfeld (2022) voerde onderzoek uit naar het gedrag van (plastic) afval op korte termijn door op kleine schaal binnen een kribvak individuele items te monitoren en te analyseren voor een periode van drie maanden. Hierbij is de uitwisseling van afval tussen de oever en de rivier bestudeerd en gerelateerd aan hydro en meteorologische variabelen. Hij concludeerde dat voornamelijk de timing en intensiteit van gematigde afvoer fluctuaties zorgt voor het aanspoelen en de opname van afval. Sanitaire doekjes werden op dezelfde manier door afvoer fluctuaties beïnvloed en werden makkelijk begraven onder aangespoeld sediment op de oevers.

Uit onderzoek van Wageningen University & Research blijkt dat voornamelijk de kleinste (nano- en microplastics) en de grootste categorie macroplastic bezinken en worden opgenomen in de rivierbodem. De kleinere plastics omdat ze samenklonteren tot vlokken met natuurlijke deeltjes, terwijl grotere plastics zinken op basis van de dichtheid en slecht drijfvermogen (Besseling et al., 2017). Binnen de rivier fragmenteren macroplastics hoofdzakelijk door mechanische processen, grote hoeveelheden UV licht en hoge temperaturen (Weinstein et al., 2016). Voornamelijk de plastics die op de oevers eindigen worden blootgesteld aan de laatstgenoemde factoren (Emmerik & Schwarz, 2019). Biodegradatie door micro-organismen wordt door de lage degradatiesnelheid niet beschouwd als relevant voor plastic fragmentatie in aquatische systemen (Andrady, 2015).

Daarnaast belanden plastics, voornamelijk bij een tijdelijke hogere waterstand, in oevervegetatie zoals grassen, struiken en bomen. Hoe lang de retentietijd van het plastic is hangt af van (seizoensgebonden) stromingsdynamiek en de eigenschappen van de vegetatie zoals hoogte, dichtheid, ruimtelijke rangschikking en geometrie (van Emmerik et al., 2022). Vanuit praktijkervaring van eerdere onderzoeken (Minnaar 2022) blijkt dat, wanneer sanitaire doekjes eenmaal verweekeld zijn in vegetatie, deze moeilijk weer losraken.

De exacte dichtheid van sanitaire doekjes door de rivier is niet bekend. De beredeneerde verwachting is dat sanitaire doekjes voornamelijk in de diepere gedeeltes van de rivier voorkomen omdat de dichtheid van de doekjes hoger is dan die van gemiddeld plastic. Deze verwachting komt overeen met het onderzoek van Rus (2022) waarin er een significant hogere concentratie sanitaire doekjes in de Rijn bij Lobith is gevonden nabij de bodem ten opzichte van hogere lagen (midden en oppervlakte) van de rivier.

Met deze aanname is de verwachting dat vooral de stroming en de bodemeigenschappen van de rivier invloed hebben op de horizontale verspreiding van de doekjes (zie figuur 8). Helaas wordt er volgens Paul Vriend, wetenschappelijk adviseur van Rijkswaterstaat, nog geen onderzoek door Rijkswaterstaat gedaan naar de verplaatsing en ophoping van plastic en zwerfafval in sediment.

De Waal (onderzoeksgebied)

De Waal is een aftakking van de Rijn die zich op ongeveer 10 kilometer van de Duitse grens bij Pannerden in Nederland afsplitst (Asselman, et al., 2020). De Waal loopt via Nijmegen door tot Woudrichem en heeft daarmee een lengte van 85 km. De rivier is gemiddeld 150m breed en heeft het een diepte tussen de -2,50 en -1,10 NAP (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Het is de grootste arm van de Rijn en ontvangt ongeveer 66% van de afvoer van de Rijn voor de afsplitsing bij Lobith (Vuren et al., 2005). De Rijn wordt gevoed door regenwater en smeltwater uit voornamelijk Zwitserland, Frankrijk, Duitsland en Nederland. In totaal is het neerslaggebied van de Rijn ongeveer 58400 km² (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Hoewel de Rijn voornamelijk bestaat uit regenwater blijft het debiet van de rivier relatief hoog tot augustus door het smeltwater dat afkomstig is van gletsjers. Daarna, van augustus tot en met november, wordt gemiddeld de laagste afvoer gemeten (Reeze, et al., 2017). De afvoer van de Rijn kan variëren tussen de 600 en 16.000 m³ s⁻¹ maar heeft een gemiddelde van 2.200 m³ s⁻¹ (Rijksoverheid, z.d.). De Waal heeft zoals veel Nederlandse rivieren kribben. De niet-verlaagde kribben stromen globaal gezien mee bij een afvoer vanaf 3.400 m³ s⁻¹ bij Lobith (rivierkundige kennis Rijkswaterstaat).

De rivierbodem van de Waal bestaat voornamelijk uit zand waarbij de mediaan van de korrelgrootte ligt op 1,5 mm in het zomerbed. Tegelijkertijd is de korrelgrootte stroomopwaarts van de Waal iets groter dan stroomafwaarts (Sorber, 1997). Door menselijke invloed is bodemerosie binnen bepaalde delen van de Nederlandse rivieren sterk toegenomen in de afgelopen decennia. Vooral de boven-Waal heeft met een waarde van -1,1 cm/jaar een erg hoge bodemerosie (Barneveld, 2022).

Verder hebben de Rijn en de Waal ook een groot economisch belang. De Waal is de drukst bevaren rivier van Nederland en een van de drukste van Europa. In 2016 maakten 120.000 schepen gebruik van het Maas-Waal kanaal alleen al waarvan de meesten voor economische doeleinden. De vrachtschepen op de Waal hebben een gemiddeld laadvermogen van 2500 ton en maximaal laadvermogen van 15.000 ton (Moolenaar, 2017). Hierdoor heeft de scheepvaart ook veel impact op de rivier. De scheepvaartbewegingen zorgen voor turbulentie op de bodem, extra golfslag en specifiek stroming langs de oevers, vooral bij een lage afvoer (Reeze, et al., 2017). Door het verschil in lading op de vrachtschepen, doorgaans stroomopwaarts zwaarbeladen en stroomafwaarts onbeladen, kan de impact van de schepen op de rivieroever erg verschillen (Reeze, et al., 2017). Een beladen schip op de Rijn weegt gemiddeld twee keer zoveel als een onbeladen schip waarbij het absolute verschil van 500 miljoen ton niet uitzonderlijk is (ten Brinke, 2003). Dit resulteert erin dat erosie en sedimentatie op de linkeroever sterker plaatsvinden dan de rechteroever van de Waal (ten Brinke, 2003). Daarnaast is de korrelgrootte van het sediment op de linkeroever significant kleiner dan de rechteroever van de Waal (Sorber, 1997).

Van oudsher is de Rijn erg belangrijk geweest voor de wereldwijde industrialisatie. Vanaf de 19^e eeuw heeft een toename van handel en industrie ertoe geleid dat de natuurlijke rivier steeds meer vervuild raakte (Wilken, 2005). Industriële gebieden zoals het Roergebied zorgde voor verontreiniging door zware metalen. De piek van de vervuiling lag in 1970 waarbij zowel water als sediment niet kon worden gebruikt voor landaanwinning, landbouw of drinkwater doeleinden zonder dure zuivering. Europees beleid heeft ervoor gezorgd dat de waterkwaliteit in de Rijn de afgelopen 50 jaar sterk is verbeterd (Wilken, 2005). Ondanks deze verbetering wordt de rivier sterk beïnvloed door mensen en zijn miljoenen Europeanen afhankelijk geworden van het water, de goederen en de energie die de rivier met zich meebrengt (Wilken, 2005). Tegenwoordig zijn er steeds meer zorgen over afval en plastic in de Rijn en wordt er nationaal en internationaal gepraat over de preventie van afval in de rivieren (Van der Wal et al., 2013). Door het grote neerslaggebied kan afval zich vanuit verschillende bronnen honderden kilometers verplaatsen. Van der Wal et al. (2013) hebben een massabalans uitgevoerd en nemen op basis van

informatie van waterschappen aan dat 1,5 eenheid zwerfvuil per km² neerslaggebied wordt getransporteerd door de Rijn. Onderzoek van Schone rivieren schat in dat, van al het afval dat gevonden wordt aan de oevers van de Rijn en Maas in Nederland, het afval voornamelijk van overstorten (8%), recreatie en consumptie (37%), industrie (36%) en dumpingen (19%) van het hele neerslaggebied afkomstig is (Boonstra, et al., 2021).

Methode

Om te weten waar sanitaire doekjes aanspoelen en accumuleren langs de oevers van rivieren is het van belang om te identificeren hoe sanitaire doekjes voortbewegen en welke factoren daar invloed op hebben. Om meer te weten te komen over de algemene verspreiding van sanitaire doekjes in rivieren is een relevant onderzoeksgebied geselecteerd. Met een systematische veldwerkmethode is in kaart gebracht waar sanitaire doekjes langs de oevers werden gevonden. Door middel van een statistische analyse is bepaald welke factoren invloed hebben op de ruimtelijke verspreiding van sanitaire doekjes bij de verschillende processen en afvoeren.

Onderzoeksgebied

Minnaar (2022) onderzocht eerder de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes binnen kribvakken op zowel de zandbanken als op hoger gelegen gebieden tussen de vegetatie. Als onderzoeksgebied werd er gekozen voor een niet al te meanderend gedeelte van de Waal, benedenstrooms van Nijmegen. Zij concludeerde dat sanitaire doekjes vooral aan de linkeroever en in de binnenbochten van de rivier aanspoelden en ophoopten. Minnaar (2022) kon niet volledig uitsluiten dat het verschil in concentratie sanitaire doekjes op de linkeroever en de rechteroever werd beïnvloed door de stad Nijmegen. Ondanks dat het onderzoek door de invloed van vegetatie niet te vergelijken is met het huidige onderzoek, is het interessant om te kijken of dezelfde patronen ook in dit onderzoek gevonden worden.

Voor het huidige onderzoek is een volledige bocht (sinus) van de Waal geselecteerd. Het onderzoeksgebied bevindt zich bovenstrooms van Nijmegen (zie figuur 9) waardoor er geen directe invloed is van een stad. Verder bevat het onderzoeksgebied van het huidige onderzoek een meer meanderende traject van de rivier dan het onderzoeksgebied van Minnaar (2022).

Verder ligt het onderzoeksgebied op een paar kilometer van de Duitse grens. Het gebied bestaat uit relatief veel Rijksgebieden en weinig bebouwing wat gunstig is voor het veldwerk.

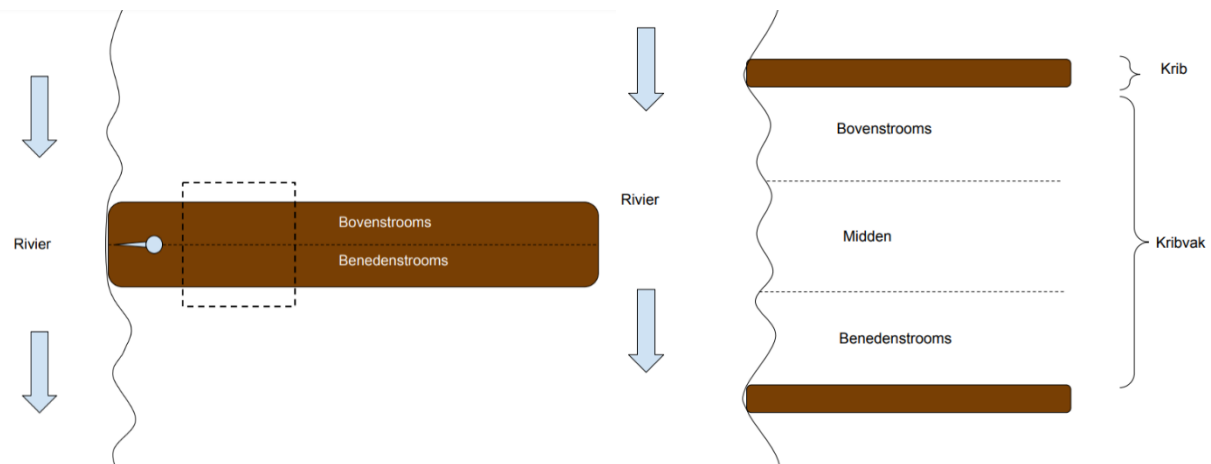


Figuur 9: Onderzoeksgebied, de Waal bovenstrooms van Nijmegen.

Veldwerkmethode

Oevermetingen

Door middel van oevermetingen konden de hoeveelheid doekjes op verschillende plekken rondom de oevers van de rivier worden geteld. De oevermetingen bestonden uit systematische waarnemingsrondes waarbij de sanitaire doekjes ter plekke werden verzameld, geteld en gekoppeld aan de locatie. Tijdens de oevermetingen werd er onderscheid gemaakt tussen kribben en kribvakken die waren verdeeld in gebieden afhankelijk van de locatie ten opzichte van de rivier. Kribben zijn verdeeld in een bovenstrooms en benedenstrooms gedeelte, terwijl kribvakken nog eens extra werden verdeeld in een middenstuk (zie figuur 10). Op de kribben is gekozen om altijd tussen vegetatie te zoeken omdat daar de meeste sanitaire doekjes worden gevangen. Vanwege de hoge dichtheid doekjes op de kribben, is ervoor gekozen om binnen negen m² per gebied op de kribben de oevermetingen uit te voeren. Deze zijn uitgevoerd met behulp van een aaneengeknoopt touw van 12 meter om het oppervlakte constant te houden. Het touw is aanhoudend op ongeveer dezelfde locatie ten opzicht van de rivier neergelegd, tussen één en vijf meter van de kribbaak af (zie figuur 10 en 12) om de verschillende kribben zo goed mogelijk te kunnen vergelijken. De verdeling van gebieden binnen de kribvakken is bepaald op basis van een gps-locatie en visuele inschatting.



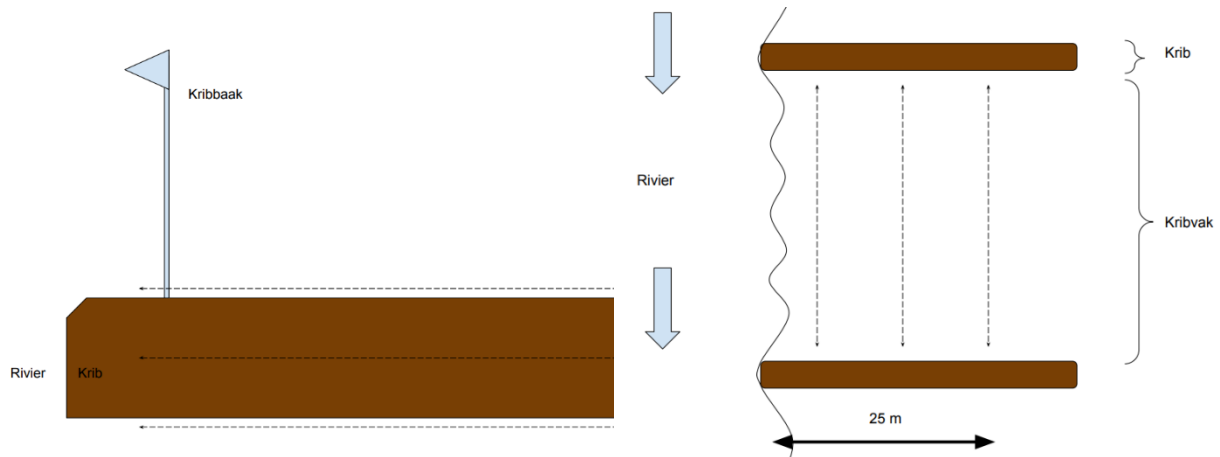
Figuur 10: Kribben en kribvakken opgedeeld in gebieden voor oevermetingen.

Om de sanitaire doekjes binnen de kribvakken zo goed mogelijk systematisch te kunnen waarnemen zijn er looproutes gemaakt (zie figuur 12). De looproutes zijn altijd door twee personen naast elkaar in beide richtingen gelopen om de kans op het waarnemen van sanitaire doekjes te vergroten. De kribvakken zijn ingedeeld op basis van de aanname dat één persoon een breedte van vijf meter visueel kan observeren. Vanwege het lage waterpeil is er besloten om kribvakken van 25 meter breed vanaf de waterkant te onderzoeken om ervoor te zorgen dat de waterlijn en vloedlijn altijd zijn meegenomen (zie figuur 11).



Figuur 11: Vloedlijn en waterlijn binnen de looproute van het kribvak.

De waterlijn en de vloedlijn bevatte het meeste afval dat gevonden werd. Bij de kribben is het touw altijd vanaf het hoogste punt van het krib aan de boven- of benedenstroomse kant neergelegd (zie figuur 12).



Figuur 12: Kribindeling en looproute binnen kribvak voor waarnemingsrondes.

Onderzoeksmethode

Om te achterhalen welke variabelen statistisch relevant zijn voor de verspreiding van sanitaire doekjes binnen de kribvakken en op de kribben, zijn twee exploratieve factor analyses uitgevoerd in R Statistics (R core Team 2022). De datasets die de concentraties sanitaire doekjes bevatten waren in beide gevallen gamma verdeeld, wat resulteerde in het gebruik van een gamma generaliserend lineair model (GLM) met een log-link om verschillende variabelen te beoordelen en te selecteren voor een passend model. Vanwege de nul-waardes in zowel de dataset van de kribvakken, als de dataset van de kribben, is een transformatie van +0.00001 en +0.001 respectievelijk toegepast.

De gekozen variabelen per analyse zijn onder deze paragraaf beschreven. De GLM-functie was gebruikt om modellen te maken van alle mogelijke combinaties van variabelen. De beste modellen zijn geselecteerd op basis van de laagste Akaike-informatiecriterium (AIC) in combinatie met de hoogste Nagelkerke R²-waarde. Hierbij zijn de beste modellen verfijnd door interacties tussen de onderlinge variabelen te achterhalen door de 'anova' functie te gebruiken. Vervolgens is een Tukey post-hoc analyse uitgevoerd, door middel van de 'lsmeans' functie, om de significantie van de variabelen en de relaties te identificeren. De resultaten zijn gevisualiseerd met box-plots en spreidingsdiagrammen.

Voor zowel de analyse van sanitaire doekjes binnen de kribvakken als de analyse van sanitaire doekjes op de kribben zijn zeven variabelen geselecteerd. Tabel 1, geeft een overzicht van de geselecteerde variabelen per analyse. Per variabele is beschreven waarom deze is geselecteerd en hoe de waarde is bepaald.

Tabel 1: Overzicht van variabelen per analyse.

Variabelen	Analyse kribvakken	Analyse kribben
Oever	X	X
Bocht	X	X
Locatie binnen de bocht	X	X
Locatie krib(vak)	X	X
Vegetatie (%)	X	X
Waterstand	X	
Kribvakklasse	X	
Kribhoogte		X
Bramenstruik (%)		X

Oever

Voorgaand onderzoek van Minnaar (2022), concludeerde dat binnen haar onderzoeksgebied van de Waal er statistisch meer sanitaire doekjes waren gevonden aan de linkeroever ten opzichte van de rechter oever (zie paragraaf *Onderzoeksgebied*). Hieruit volgend is besloten om ook deze variabele in beide analyses op te nemen.

Parameters: "Linkeroever", "Rechteroever"

Bocht

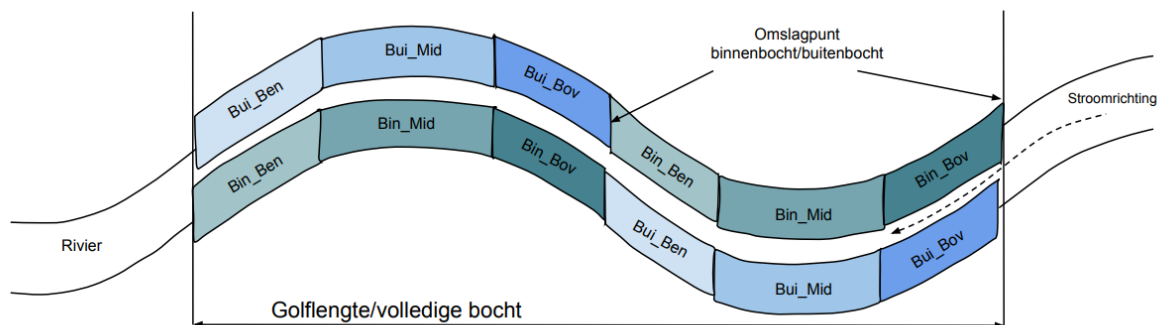
Tijdens hetzelfde onderzoek van Minnaar (2022) is geconcludeerd dat ook de binnenbocht statistische meer sanitaire doekjes bevatte ten opzichte van de buitenbocht. Bovendien de hydrologische processen in de rivier voor verschillende situaties in de binnen- en buitenbocht (zie paragraaf *Stroming in bochten van natuurlijke rivieren*). De binnen- en buitenbochten zijn bepaald op basis van kaarten van de vaargeul die beschikbaar zijn binnen Rijkswaterstaat.

Parameters: "Binnenbocht", "Buitenbocht"

Locatie binnen de bocht

De mate waarin erosie en sedimentatie plaatsvindt binnen een bocht verschilt binnen de locatie van een bocht (zie paragraaf *Stroming in bochten van natuurlijke rivieren*). Daarom is besloten om de bochten van het onderzoeksgebied op te delen in verschillende gebieden. Het doel hiervan is om te bepalen of er systematische verschillen zijn in de concentratie sanitaire doekjes binnen de verschillende locaties van een bocht. Tijdens het onderzoek van Minnaar (2022) is in overleg met een morfoloog van Rijkswaterstaat besloten om de binnen- en buitenbochten op te delen in drie gebieden (zie figuur 13). Om consistentie te behouden is ook in dit onderzoek hiervoor gekozen.

Parameters: "Binnenbocht_Benedenstrooms (Bin_Ben)", "Binnenbocht_Midden (Bin_Mid)", "Binnenbocht_Bovenstrooms (Bin_Bov)", "Buitenbocht_Benedenstrooms (Bui_Ben)", "Buitenbocht_Midden (Bui_Mid)", "Buitenbocht_Bovenstrooms (Bui_Bov)"



Figuur 13: Factor "Locatie binnen de bocht" opgedeeld in zes verschillende gebieden. Aangepast overgenomen van Minnaar (2022).

Locatie binnen krib(vak)

De gebiedsindeling van figuur 13 is gebruikt als variabele omdat rivierstromingen binnen kribvakken en, bij hoogwater, aan verschillende kanten van de kribben erg kunnen verschillen. Door deze variabele op te nemen in de verschillende analyses kunnen patronen van hoge concentratie binnen de verschillende locatie worden gevonden.

Parameters kribvak: "Benedenstrooms", "Midden", "Bovenstrooms"

Parameters kribben: "Benedenstrooms", "Bovenstrooms"

Vegetatie

Plastics kunnen blijven hangen in vegetatie op de oevers zoals is beschreven in paragraaf Bovendien speelt vegetatie bij de analyse van sanitaire doekjes op de kribben een belangrijke rol omdat de gevonden doekjes zijn gekoppeld aan hoge dichtheden vegetatie op de kribben. Het percentage vegetatie is visueel ingeschat en afgerond (10, 30, 50, 70, 100).

Parameter: Percentage vegetatie (%)

Waterstand

Onderzoek van Grosfeld (2022) laat zien dat fluctuaties van de waterstand effect heeft op de verspreiding van plastic afval binnen een kribvak op korte termijn. Om erachter te komen of

verschillende waterstanden tijdens de oevermetingen ook direct te linken zijn aan de verdeling van sanitaire doekjes op de oevers van het onderzoeksgebied, is deze variabele gebruikt voor de analyse van de kribvakken. De waterstand tijdens de oevermetingen was te laag om invloed te hebben op verspreiding van sanitaire doekjes op de kribben. De dagelijkse waterstand van Lobith is gebruikt als waarde voor deze parameter.

Parameter: Waterstand in meters

Kribvakclassificatie

Zoals beschreven in paragraaf *Effecten van kribben op stroming en sedimenttransport* kunnen kribvakken worden geclassificeerd op basis van de sedimentatie patronen van een kribvak. Door deze variabele mee te nemen kan worden bepaald of er een statistisch verband is tussen de gevonden angespoelde sanitaire doekjes en de hydro- en morfologische processen binnen een kribvak. Kribvakken zijn geclassificeerd met behulp van luchtfoto's van verschillende jaargangen van Rijkswaterstaat.

Parameter: Classificatie "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7"

Kribhoogte

De hoogte van een krib kan invloed hebben op de hoeveelheid gevonden sanitaire doekjes op de kribben en is daarom relevant. De hoogte van de kribben is bepaald met Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

Parameter: Kribhoogte in meters

Percentage bramenstruik

Tijdens voorbereidend onderzoek zijn sanitaire doekjes op de kribben voornamelijk in bramenstruiken gevonden. Op de kribben komen deze stekelige struikgewassen veel voor, maar ook grassen, planten en andere struiken worden aangetroffen. De hypothese is dat er een sterker verband zou kunnen zijn tussen de bramenstruiken en de hoeveelheid gevonden sanitaire doekjes ten opzichte van algemene vegetatie. Ook hier is het percentage vegetatie visueel ingeschat en afgerond (10, 30, 50, 70, 100).

Parameter: Percentage bramenstruiken (%)

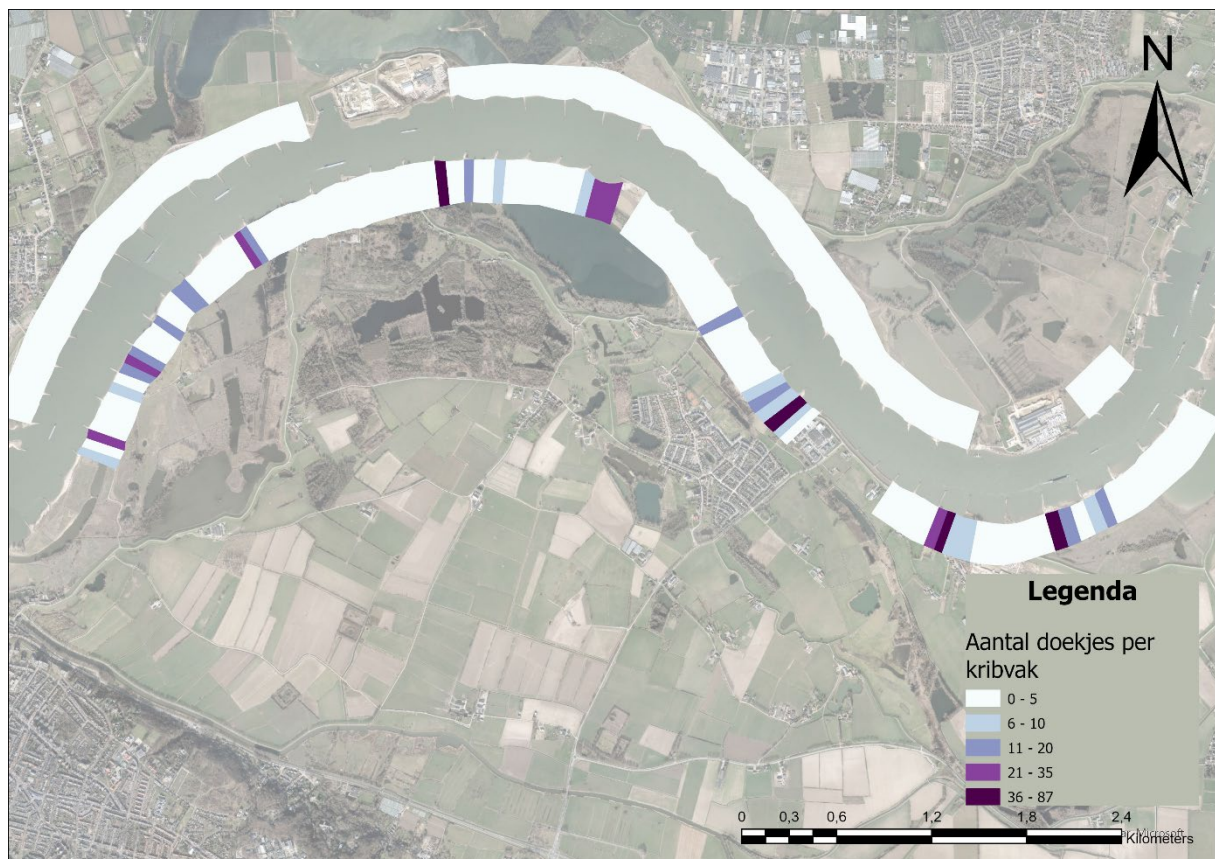
Resultaten

De resultaten van de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes binnen kribvakken en op de kribben zijn apart weergegeven. De resultaten bestaan uit een overzicht van de verschillende concentraties sanitaire doekjes per locatie die zijn gevonden tijdens het veldwerk en de resultaten van de statistische exploratieve factor analyse in R.

Resultaten sanitaire doekjes binnen kribvakken

Resultaten veldwerk kribvakken

Een overzicht van de diverse gevonden sanitaire doekjes, binnen de kribvakken van het onderzoeksgebied, is afgebeeld in figuur 14 en 16. Door de lage waterstand waren de oevers, op enkele gevallen na, tot 25 meter breed goed te bereiken voor oevermetingen. De kribvakken bestonden voornamelijk uit zand en klei en bevatte over het algemeen weinig vegetatie waarin afval kon blijven hangen, hoewel uitzonderingen van struiken en lage vegetatie wel voorkwamen. De korrelgrootte van het sediment aan de rechteroever leek aanzienlijk groter ten opzichte van de linkeroever. Schelpen werden op dezelfde manier voornamelijk gevonden op de rechteroever (figuur 15). Gedetailleerde informatie met beschrijvingen van het substraat, vegetatie, de grote van het onderzoeksgebied en de exacte hoeveelheid gevonden sanitaire doekjes per gebied binnen de kribvakken kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 14: Overzicht van aantal gevonden sanitaire doekjes per gebied binnen kribvakken. Gemaakt door Madelief Logtenberg.



Figuur 15: Onderzoeksgebieden binnen de kribvakken met nauwelijks vegetatie. De linker afbeelding, de linkeroever, de rechter afbeelding, de rechteroever. De witte strepen op de rechteroever zijn rijen aangespoelde schelpen.

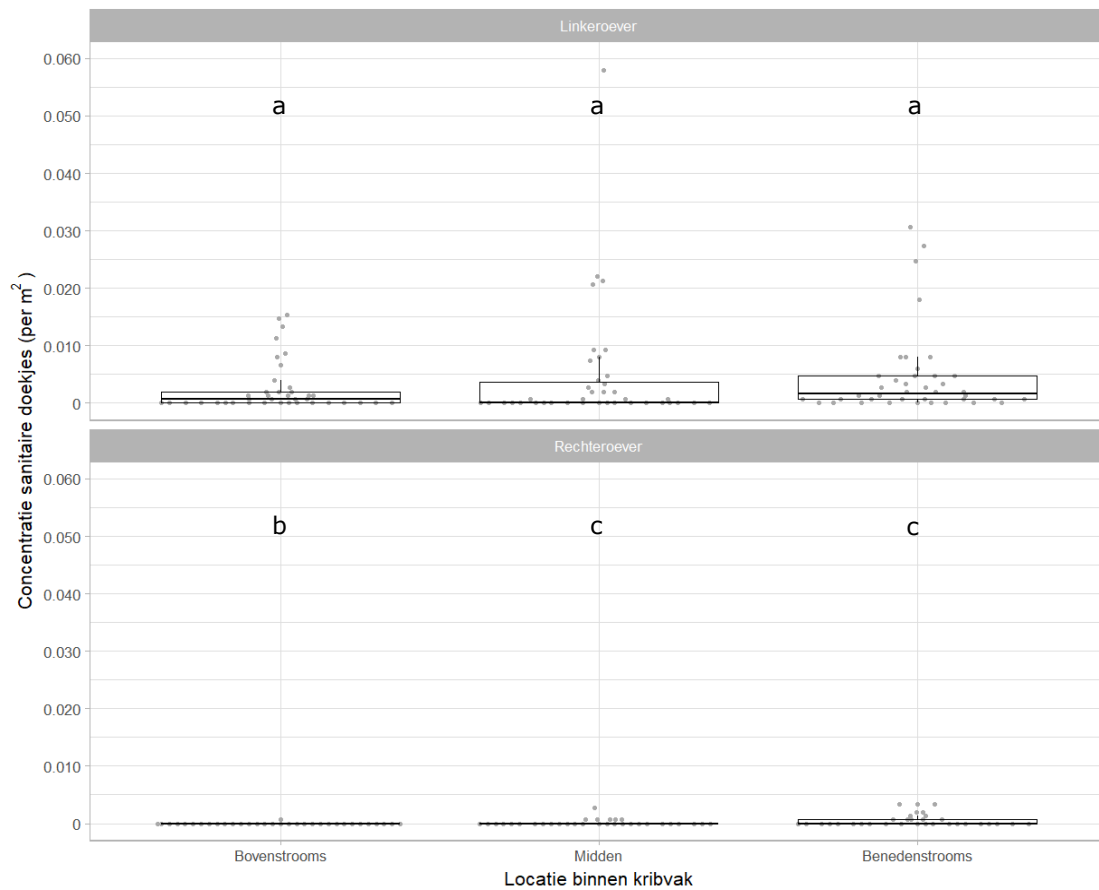


Figuur 16: Ingezoomde weergave van het meest benedenstroomse gedeelte van het onderzoeksgebied. Gemaakt door Madelief Logtenberg

Resultaten analyse kribvakken

Een model met een interactie tussen de factoren 'Oever' en 'Locatie binnen kribvak' is geselecteerd als beste representatieve model voor de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes binnen kribvakken (AIC = -2907.5, $R^2 = 0.849$).

Een significant verschil tussen de concentratie sanitaire doekjes op de linkeroever en rechteroever is consequent gevonden voor de drie locaties binnen de kribvakken (Bovenstrooms, p-waarde < .0001; Midden, p-waarde < .0001; Benedenstrooms, p-waarde = 0.0005). Binnen de rechteroever bevatte de locatie 'Bovenstrooms' significant minder sanitaire doekjes dan de locatie 'Midden' en 'Benedenstrooms' (Bovenstrooms – Benedenstrooms, p-waarde < .0001; Bovenstrooms – Midden, p-waarde = 0.0049)(zie figuur 17).

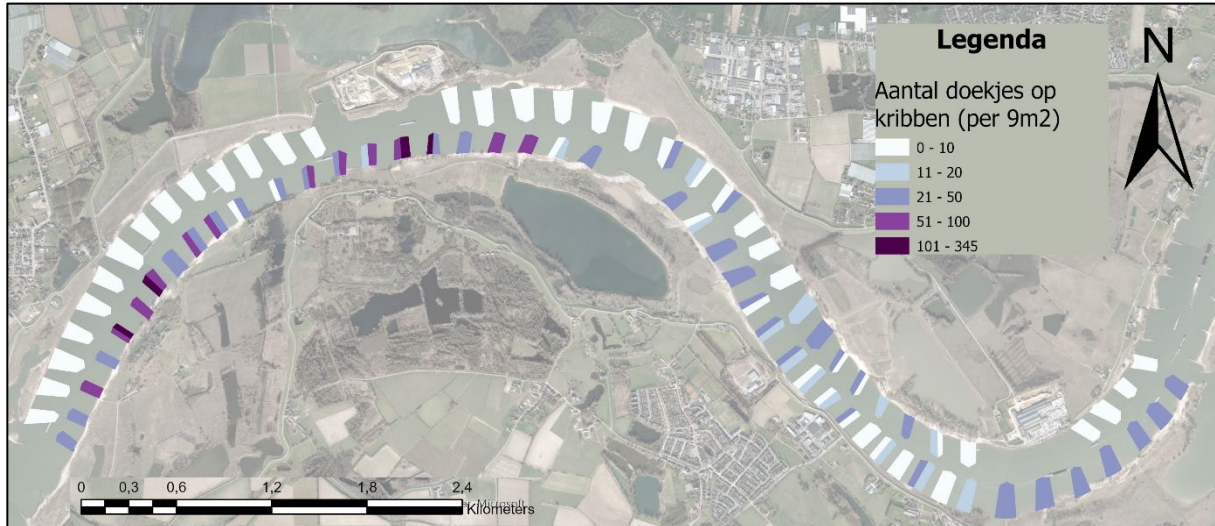


Figuur 17: Boxplotten met statistische relaties tussen de interacties van de Oever met Locatie kribvak. Een statistisch verschil tussen locaties is aangegeven met een verschil in letter.

Resultaten sanitaire doekjes op kribben bij hoogwater

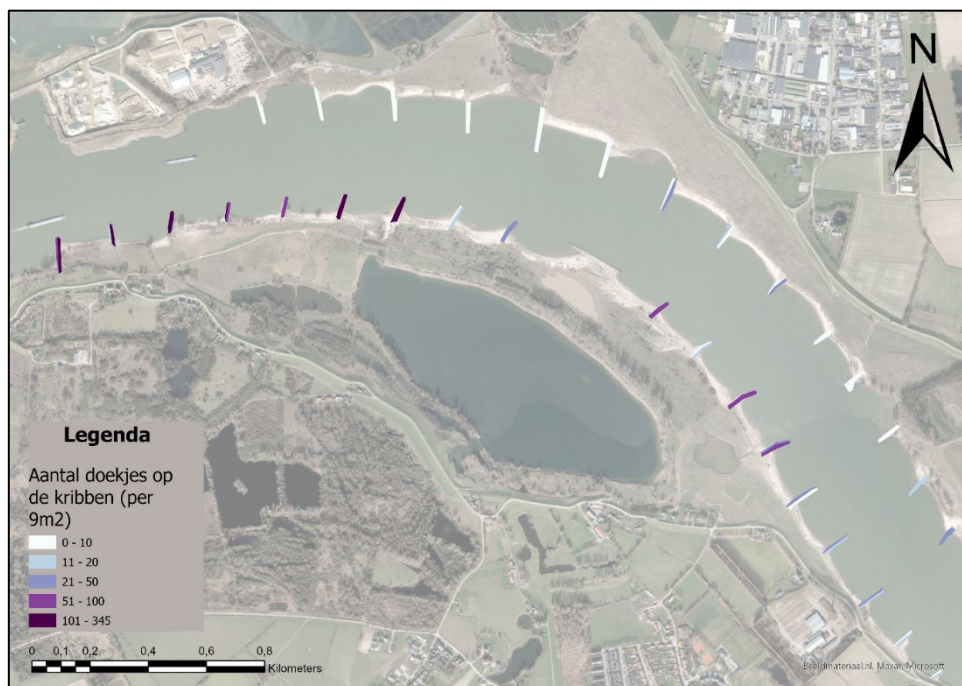
Resultaten veldwerk

Een overzicht van de diverse gevonden sanitaire doekjes, op de kribben van het onderzoeksgebied, is afgebeeld in figuur 18 en 19. Bijna alle kribben bevatte vegetatie bovenop de kribben waardoor oevermetingen tussen de vegetatie vaak mogelijk was.



Figuur 18: Overzicht van aantal gevonden sanitaire doekjes per gebied op (uitvergrote) kribben. Gemaakt door Madelief Logtenberg

Opvallend is dat hoge aantallen sanitaire doekjes alleen tussen de vegetatie (zie figuur 20), of ander stekelige objecten zoals prikkeldraad, zijn gevonden. Echter zorgde een hoge vegetatiedichtheid niet voor de garantie op veel sanitaire doekjes, dit verschilde namelijk per locatie. Op plekken zonder vegetatie (zie figuur 20), zoals lagergelegen plekken of gemaaide kribben, werden per definitie niet of nauwelijks sanitaire doekjes gevonden. Dit resulteerde erin dat, in de enkele gevallen waarin weinig vegetatie op kribben aanwezig was, er enkele meters verder van de kribbaak werd gemeten. Gedetailleerde informatie met beschrijvingen van het substraat, vegetatie en de exacte hoeveelheid gevonden sanitaire doekjes per gebied op de kribben kan gevonden worden in de bijlage.



Figuur 19: Ingezoomde weergave van het meest benedenstroomse gedeelte van het onderzoeksgebied met kribben op ware grootte. Gemaakt door Madelief Logtenberg



Figuur 20: Vegetatie is voornamelijk te vinden bovenop het krib (links), de dichtbegroeide bramenstruiken bovenop een krib (rechts).



Figuur 21: Touw (9 m²) neergelegd als op kribben onderzoeksgebied bij verschillende dichtheden vegetatie.

Resultaten analyse kribben

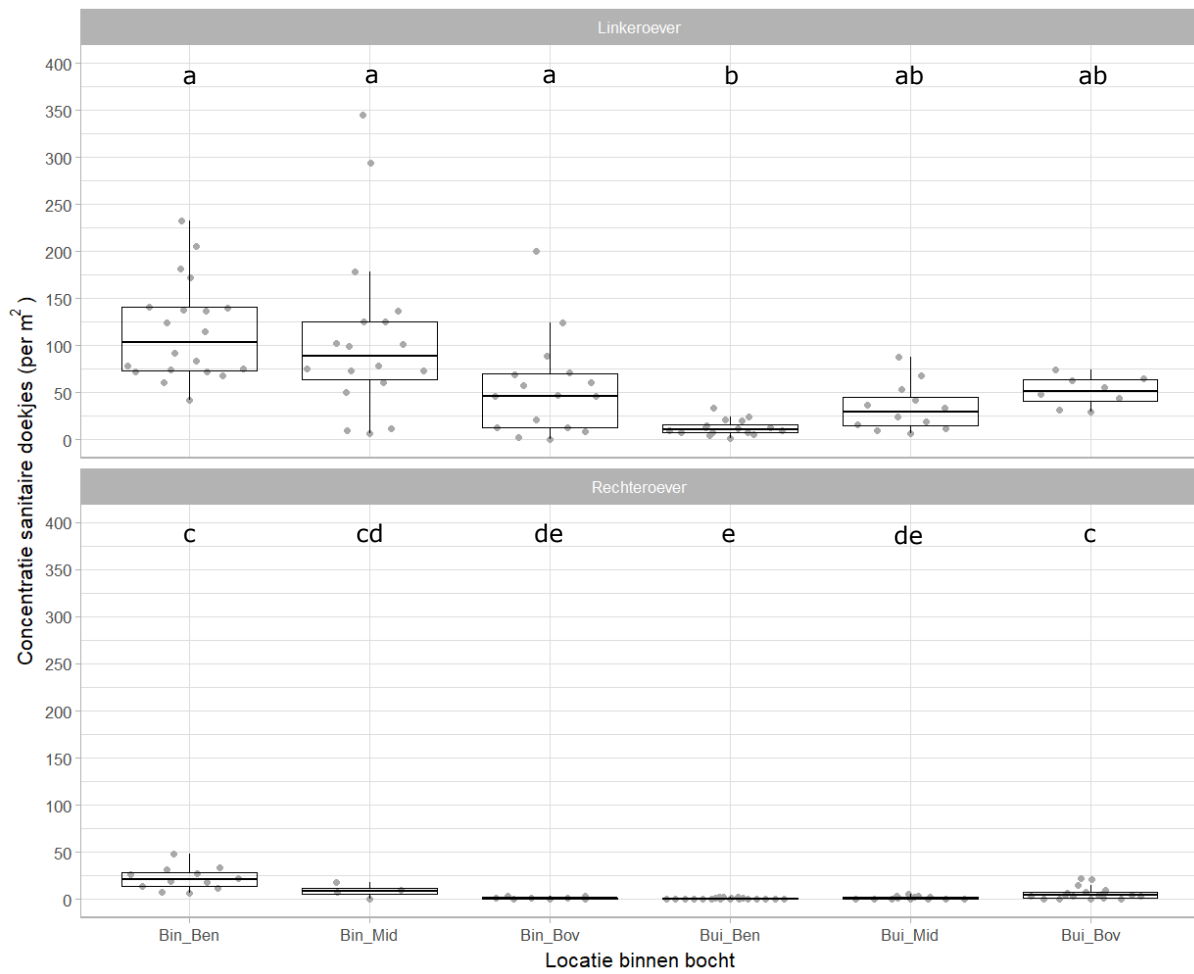
Een model met een interactie tussen 'Oever', 'Bocht' en 'Locatie binnen bocht' is geselecteerd als beste model voor de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes op de kribben (AIC = 450.4, R² = 0.915). De factor 'Bocht' is indirect verwerkt in de factor 'Locatie binnen bocht' wat ertoe heeft geleid dat de factor 'Bocht' is wegelaten uit de significante analyse.

Het percentage bramenstruiken heeft een positieve significante relatie met de hoeveelheid gevonden sanitaire doekjes, wat bevestigt dat doekjes voornamelijk blijven hangen in deze stekelige struikgewassen (p-waarde = 0.001117).

Net als binnen de kribvakken is er een significant verschil tussen de concentratie gevonden sanitaire doekjes op de linkeroever en rechteroever, op alle locaties van de bochten (Bin_Ben, p-waarde = 0.0001; overige locaties, p-waarde <.0001).

Binnen de linkeroever is de concentratie sanitaire doekjes op de benedenstroomse locatie in de buitenbocht significant minder dan de concentratie doekjes op de locaties van de binnenbocht (Bin_Ben, p-waarde <.0001; Bin_Mid, p-waarde <.0001; Bin_Bov, p-waarde = 0.0023). Binnen de rechteroever is de concentratie sanitaire doekjes significant hoger op locaties binnenbocht-benedenstrooms en buitenbocht-bovenstrooms ten opzichte van de locaties binnenbocht-bovenstrooms, buitenbocht-benedenstrooms en buitenbocht-midden (Bin_Ben - Bin_Bov, p-waarde <.0001; Bin_Ben - Bui_Ben, p-waarde <.0001; Bin_Ben - Bui_Mid, p-waarde <.0001; Bui_Bov - Bin_Bov, p-waarde = 0.0065; Bui_Bov - Bui_Ben, p-waarde <.0001; Bui_Bov - Bui_Mid, p-waarde = 0.0085). Daarbij bevat ook de locatie binnenbocht-midden een significant hogere concentratie sanitaire doekjes dan de locatie buitenbocht-benedenstrooms (p-waarde = 0.0001).

Opvallend is dat is dat de locaties binnenbocht-benedenstrooms, binnenbocht-midden en buitenbocht-bovenstrooms, onafhankelijk van de oever, significant meer doekjes bevatten dan Bui_Ben (zie figuur 22).



Figuur 22: Boxplots met statistische relaties tussen de interacties van de Oever met Locatie binnen bocht. (Binnenbocht (Bin), Buitenbocht (Bui), Benedenstrooms (Ben), Midden (Mid), Bovenstrooms (Bov).) Een statistisch verschil tussen locaties is aangegeven met een verschil in letter.

Discussie

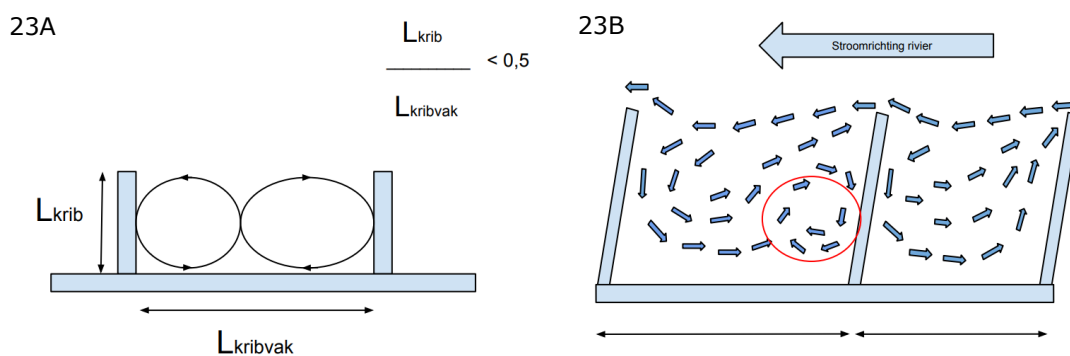
Mogelijke verklaringen voor de ruimtelijke verdelingen

De geselecteerde modellen in R verklaarden met de analyse van de kribvakken en de kribben respectievelijk 85% en 91% (R2-waarde) van de ruimtelijk verdeling van de gevonden sanitaire doekjes. Dit geeft aan dat de significant bevonden factoren erg relevant zijn voor het voorspellen van de ruimtelijk verspreiding van sanitaire doekjes in de Waal. De vraag blijft welke rivierprocessen invloed hebben op deze ruimtelijk verspreiding van sanitaire doekjes bij verschillende situaties. Hoewel niets wordt bewezen gaat deze paragraaf in op mogelijke verklarende factoren.

Significante verschillen binnen kribvakken op de rechteroever

Uit de analyse van de kribvakken is gebleken dat binnen de rechteroever, de bovenstroomse locatie significant minder sanitaire doekjes bevatte dan de overige locaties. Als we kijken naar de theoretische stromingspatronen binnen kribvakken (zie paragraaf *Effecten van kribben op stroming en sedimenttransport*), zou het mogelijk kunnen zijn dat het bovengenoemde significante verschil ontstaat door circulatiestromingen binnen een kribvak met een bepaalde lengte-breedte ratio. Sukhodolov et al. (2002) lieten in hun onderzoek zien dat bij de juiste verhouding van een kribvak ($L_{krib}/L_{kribvak} < 0,5$) er twee tegengestelde circulatiestromingen binnen een kribvak kunnen ontstaan. Het onderzoek laat zien dat de gemiddelde stroomsnelheid, in het geval van een patroon met twee circulaties, een stuk lager is aan de bovenstroomse locatie van het kribvak doordat de tegengestelde stromingen elkaar afzwakken (Sukhodolov et al., 2002)(zie figuur 23). Of een kribvak de juiste ratio heeft wordt ook bepaald door de waterstand. Hoe lager de waterstand is, hoe minder water er in een kribvak zit en hoe kleiner L_{krib} wordt. Het huidige onderzoek is uitgevoerd in september 2022 waarbij de waterstand van de Waal erg laag was.

De mogelijkheid van de invloed van circulatiestromen komt overeen met het vermoeden van Grosfeld (2022), die op korte termijn afval in een kribvak monitorde, en verplaatsingen van sanitaire doekjes binnen het kribvak meende te koppelen aan circulatiestromen. Of deze mogelijkheid ook daadwerkelijk de verklarende factor is voor het significante verschil is hieruit niet te bevestigen. De stromingen binnen kribvakken zijn erg complex en afhankelijk van veel factoren (Sukhodolov et al., 2002). Daarbij verklaart dit niet waarom het significante verschil alleen is aangetoond aan de rechteroever en niet aan de linkeroever. Verder onderzoek zou gedaan moeten worden naar het effect van de rivierstromingen binnen het kribvak op de verspreiding van sanitaire doekjes.



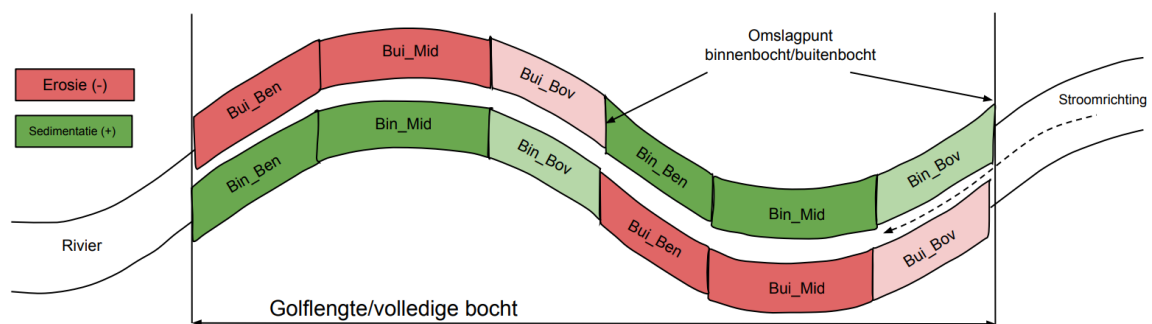
Figuur 23: Aan de linkerkant, de verhouding tussen de lengte van een krib en de lengte van het kribvak voor een patroon met twee circulaties. Aan de rechterkant, in rood het gebied (bovenstrooms binnen het kribvak) met een lage stroomsnelheid dat ontstaat door twee circulaties.

Significante verschillen op kribben

Uit de analyse van de hoeveelheid doekjes op kribben zijn statistische verschillen gevonden tussen de concentratie sanitaire doekjes op de verschillende locaties binnen de bochten. De doekjes op de kribben zijn daar terecht gekomen bij hoogwater. De verschillende concentraties kunnen in theorie voor een groot gedeelte worden verklaard door de secundaire circulatie van de rivieren en komen overeen met de bijkomende erosie en sedimentatie processen van de bochten (zie paragraaf *Stroming in bochten van natuurlijke rivieren*). Het lijkt erop dat sanitaire doekjes, net als sediment,

over de bodem van de rivier vanuit de buitenbocht naar de binnenbocht worden gedwongen. De hogere concentratie sanitaire doekjes benedenstrooms en midden in de binnenbocht (Bin_Ben, Bin_Mid) komen overeen met de theoretisch hoge sedimentatie waarden van de rivier volgens het principe dat een rivier niet volledig loodrecht aan de kromming, maar benedenstrooms migreert (Sylvester et al., 2019)(zie paragraaf *Stroming in bochten van natuurlijke rivieren*). Hetzelfde geldt voor de lage concentratie gevonden doekjes benedenstrooms in de buitenbocht (Bui_Ben) die overeenkomen met hoge theoretische erosie waarden op die locatie van de rivier (figuur 24). Binnen de rechteroever is ook op dezelfde manier te verklaren dat de gevonden concentratie op Bui_Bov hoger is dan op de andere locaties van de buitenbocht (Bui_Ben, Bui_Mid). Opmerkelijk is de hoge concentratie sanitaire doekjes op de bovenstroomse locatie van de buitenbocht (Bui_Bov) aan de rechteroever ten opzichte van de bovenstroomse locatie van de binnenbocht (Bin_Bov). Als de doekjes hetzelfde zouden mobiliseren als sediment, dan verwacht je dat er altijd meer sedimentatie in de binnenbocht plaatsvindt dan de buitenbocht. De locatie Bui_Bov ligt echter wel naast Bin_Ben, de locatie met de hoogste concentratie doekjes. Het omslagpunt tussen deze twee gebieden zou minder exact kunnen zijn dan in de theorie.

Het resultaat van dit onderzoek bij hoogwater is puur gebaseerd op de gevonden doekjes tussen de vegetatie. Om de bovengenoemde verklaring volledig te bewijzen zou er meer onderzoek gedaan moeten worden naar het effect van bochten op de verspreiding van de doekjes en het effect van de kribben zelf, bij hoog en laagwater. Het zou bijvoorbeeld mogelijk kunnen zijn dat stromingspatronen bij hoogwater richting de uiterwaarden lopen waardoor het effect van bochten mogelijk tussen de kribben niet opgaat. Daarnaast hebben kribben de werking om het natuurlijk migreren van de rivier tegen te gaan, maar of dit het effect van de verspreiding van sanitaire doekjes binnen de bochten in de kribvakken ook beperkt is onduidelijk.



Figuur 24: Erosie en sedimentatie patronen van natuurlijke meanderende rivieren gebaseerd op Sylvester et al. (2019). Hoe donkerder de kleur, hoe sterker het proces theoretisch plaatsvindt.

Significante verschillen tussen linker- en rechterzijde van de rivier

Opmerkelijk zijn de significante verschillen tussen de concentratie sanitaire doekjes aan linkeroever en de rechteroever. Niet alleen omdat het verschil moeilijk te verklaren is aan de hand van natuurlijke hydromorfologische processen, maar ook omdat het verschil overduidelijk is bij zowel het onderzoek tussen de kribvakken als op de kribben.

Haberstroh et al. (2020) deden onderzoek naar het effect van hydrologische processen op de ruimtelijke distributie en transport van plastic in de waterkolom. Zij concludeerden dat plastic, zeker stroomafwaarts bij een relatief hogere afvoer en snellere stroomsnelheid, erg worden beïnvloed door turbulentie waardoor plastics goed werden gemengd over de hele dwarsdoorsnede van de waterkolom. De impact van turbulentie op plastic deeltjes was afhankelijk van eigenschappen van het plastic, zoals grootte, vorm en samenstelling. Met de aanname dat de afvoer en stroomsnelheid relatief hoog zijn in de Rijn, voordat de rivier zich opsplijt in het Pannerdensch kanaal en de Waal, zou het plastic afval in de Rijn in ieder geval goed gemengd moeten zijn. Rus (2022) vond echter dat sanitaire doekjes in de waterkolom van de Boven-Rijn, een paar kilometer bovenstrooms van het huidige onderzoeksgebied, in hoge concentraties voornamelijk voorkwamen rond de bodem en aan de linkerkant van de rivier. Logischerwijze kan dit twee oorzaken hebben. Er bevinden zich meer puntbronnen stroomopwaarts aan de linkeroever waarbij turbulentie in het benedenstroomse gedeelte van de Rijn niet zo hoog is dat het effect

heeft op de relatief zware sanitaire doekjes. Of er zijn lokale puntbronnen aan de linkeroever die ervoor zorgen dat de sanitaire doekjes bijna direct de onderzoeksgebieden instromen.

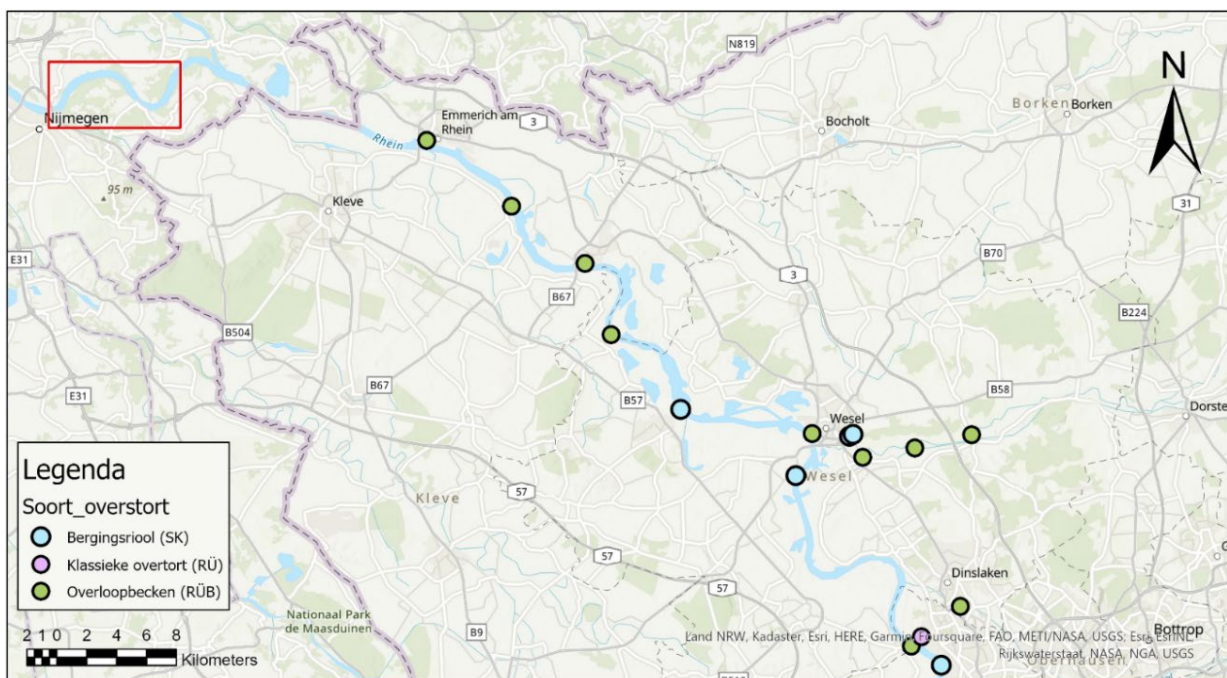
Met die reden is onderzoek gedaan naar locatie van lokale gemengde riooloverstorten in, en bovenstreams van, het onderzoeksgebied.

In veel delen van Nederland (66%)(Deltares, 2017) en Duitsland (70%) zorgen gemengde riolen voor de gecombineerde afvoer van stedelijk afvalwater, regenwater en in sommige gevallen industrieel water (Butler et al., 2018). Onder normale omstandigheden worden deze verschillende soorten afvalwater naar de dichtstbijzijnde waterzuiveringsinstallatie (rwzi) afgevoerd om het water te zuiveren en vervolgens te lozen in een waterlichaam (Botturi et al., 2020). Echter kunnen intensieve regenbuien ervoor zorgen dat de riolering de gecombineerde afvalwaterstromen niet meer aankan, waardoor gemengde riooloverstorten worden gebruikt om overstromingen op andere locaties en problemen bij de waterzuivering te voorkomen. Intensieve regenval kan ervoor zorgen dat de regenwaterafvoer in de riolering 50 tot 100 keer meer is dan de gemiddelde jaarlijkse afvoer van afvalwater (Butler et al., 2018). Het ongezuiverde rioolwater wordt dan via een riooloverstort in een waterlichaam, zoals een beek of rivier, geloosd. Deze wateren komen uiteindelijk uit op grotere rivieren zoals de Waal of de Rijn.

Een alternatief voor gecombineerde rioleringen zijn gescheiden rioleringen. Deze komen steeds vaker voor in Europa en zorgen voor de gescheiden afvoer van stedelijk afvalwater en regenwater (Butler et al., 2018). Overstorten van gescheiden riolen lozen alleen regenwater waardoor sanitair afval niet via deze overstorten in waterlichamen terecht komt. In het regenwater kan wel straatvuil zitten, maar dit is zelden sanitair afval.

De overstortfrequentie en het jaarlijks overstortvolume is per riooloverstort verschillend en onder andere afhankelijk van het aantal aangesloten rioleringen, de kwaliteit van het verschillende afvalwater, de grootte van het waterlichaam waarin wordt geloosd en de te beïnvloede bewoonde omgeving (B. Mehlig, persoonlijke communicatie, 8 november 2022). In Nederland is de gemiddelde gemengde overstortfrequentie vijf keer per jaar (Aalderink et al., 2009). Het gemiddelde jaarlijkse gemengde overstortvolume is 305 m³ per ha aangesloten woonwijk (Aalderink et al., 2009). Sweco heeft onderzoek gedaan naar de hoeveelheid sanitair afval dat per volume overstort in het milieu beland. Zij concludeerden, door naar twee gemengde riooloverstorten te kijken met verschillende jaarlijkse overstortvolumes (10.000 m³/jr, 1.000 m³/jr), dat elke kuub (m³) overstortvolume gemiddeld 0,5 stuk sanitair afval bevat. Hiervan is 85% sanitaire doekjes (Vierwind, 2021). Dit komt neer op een gemiddelde hoeveelheid van 14,5 miljoen sanitaire doekjes die jaarlijks in waterlichamen worden geloosd in Nederland (Vierwind, 2021).

Om uit te sluiten dat lokale overstorten het significante verschil in concentratie sanitaire doekjes op de linker- en rechteroever verklaren, zijn de lokale overstorten in, en bovenstreams van, het



Figuur 25: Overzicht van lokale verschillende gemengde riooloverstorten in Nederland en Duitsland. Het onderzoeksgebied is aangegeven met het rode vak. Informatie is verkregen van Nederlandse gemeentes en deelstaat Noordrijn-Westfalen.

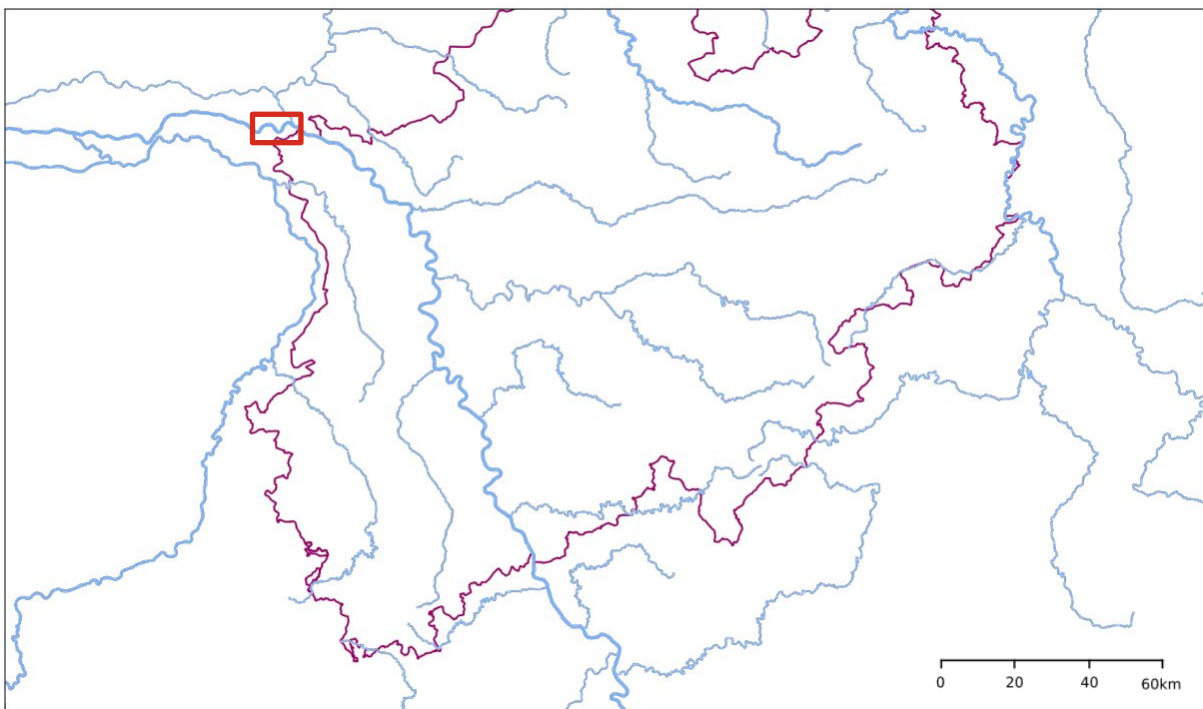
onderzoeksgebied in kaart gebracht. Vanwege enkel verouderde beschikbare documenten zijn de verschillende relevante Nederlandse gemeentes (Lingewaard, Berg en Dal, Zevenaar) telefonisch en per mail benaderd. Hieruit kon worden geconcludeerd dat er geen gemengde riooloverstorten rechtstreeks op de Rijn en Waal uitmonden in het onderzoeksgebied en bovenstrooms tot de Duitse grens (zie figuur 25).

Vervolgens is het LANUV, het Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz van deelstaat Noordrijn-Westfalen (NRW), benaderd om een goed overzicht te krijgen van de verschillende riooloverstorten in het dichtstbijzijnde bovenstroomse gedeelte van Duitsland. Zij beschikken over een database met alle locaties van de verschillende soorten riooloverstorten in deelstaat Noordrijn-Westfalen (zie figuur 26 en 27).

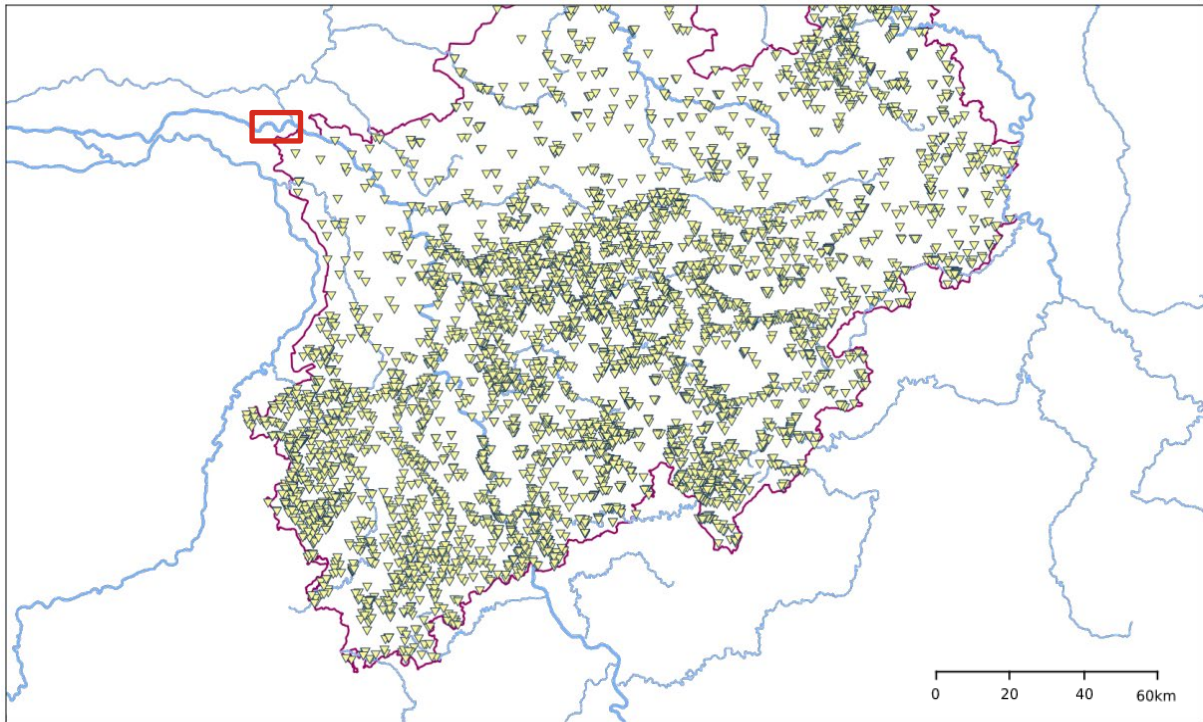
In de deelstaat zijn de meest voorkomende gemengde riooloverstorten: klassieke riooloverstorten (Regenüberläufe (RÜ)), bergingsriolen (Stauraumkanäle (SK, SKu of Ska)) en overloopbekken (Regenüberlaufbecken (RÜB)) (LANUV, 2015). De bergingsriolen en overloopbekken bevatten extra bergingscapaciteit, met een terugloophelling, om ervoor te zorgen dat de overstort minder vaak hoeft te functioneren. De terugloophelling zorgt ervoor dat het water in de extra bergingscapaciteit langzaam terugstroomt naar het riool. De overloopbekken bevatten de meeste bergingscapaciteit (LANUV, 2015). Ook het ontwerp van deze riooloverstorten zijn aangepast aan de lokale situatie. Het overzicht van alle verschillende riooloverstorten in Noordrijn-Westfalen is weergegeven in figuur 26 en 27. Wat opvalt is dat de meeste riooloverstorten zich aan de rechterkant stroomopwaarts van de Rijn bevinden. Dit komt mede door de vier grote aftakkingen aan rechterkant van de Rijn (Lippe, Ruhr, Wupper en Agger).

Met het oog op figuur 25, kan de invloed van lokale riooloverstorten op de oeververdeling (links/rechts) van sanitaire doekjes zo goed als zeker worden uitgesloten. Dit kan worden geconcludeerd omdat de dichtstbijzijnde riooloverstorten bovenstrooms van het onderzoeksgebied pas in Duitsland gelegen zijn. Daarbij zijn de locaties van de dichtstbijzijnde riooloverstorten goed verdeeld over de linker- en rechteroever (eerste vijf bovenstrooms gelegen riooloverstorten: rechteroever, linkeroever, rechteroever, linkeroever, linkeroever). Verder bevatten de meest lokale riooloverstorten een extra bergingscapaciteit, die in theorie minder vaak zou moeten overstorten dan klassieke riooloverstorten. Exacte overstortfrequenties van de lokale overstorten zouden de invloed volledig uitsluiten, deze zijn echter niet bekend zijn.

Dat sanitaire doekjes in de deelstaat theoretisch voornamelijk via de rechteroever in de Rijn zouden komen door de locatie van de meeste riooloverstorten (zie figuur 26 en 27), maakt het feit dat er significant meer sanitaire doekjes op de linkeroever gevonden zijn nog opmerkelijker. Hierdoor lijkt ook te kunnen worden uitgesloten dat er te weinig turbulentie in de Rijn is om sanitaire doekjes te kunnen laten mengen door de waterkolom.



Figuur 26: Alle grote rivieren in deelstaat Noordrijn-Westfalen, met in het rode vak het onderzoeksgebied van dit onderzoek. Verkregen op 10-01-2023 van ELWAS-WEB het data-informatiesysteem van LANUV.



Figuur 27: Alle verschillende riooloverstorten in deelstaat Noordrijn-Westfalen, met in het rode vak het onderzoeksgebied van dit onderzoek. Verkregen op 10-01-2023 van ELWAS-WEB het data-informatiesysteem van LANUV.

Mogelijk speelt de invloed van scheepvaart een rol in het significante verschil in concentratie sanitaire doekjes op de oeverkanten. Schepen die stroomopwaarts varen zijn over het algemeen zwaarder beladen dan schepen die stroomafwaarts varen. Ten Brinke (2003) toonde al aan dat dit ook de oorzaak is van het verschil in korrelgrootte van het sediment op de linkeroever en de rechteroever van de Waal. Verder is uit dit onderzoek gebleken dat sanitaire doekjes zich mogelijk op dezelfde manier bewegen als bepaald sediment, zoals hierboven beschreven in *Significante verschillen tussen locaties binnen bochten bij hoogwater*. Hoewel de invloed van scheepvaart met deze argumenten optioneel lijkt, kan het verschil in concentratie doekjes op de oevers met de argumenten niet worden bewezen.

Limitaties & aanbevelingen

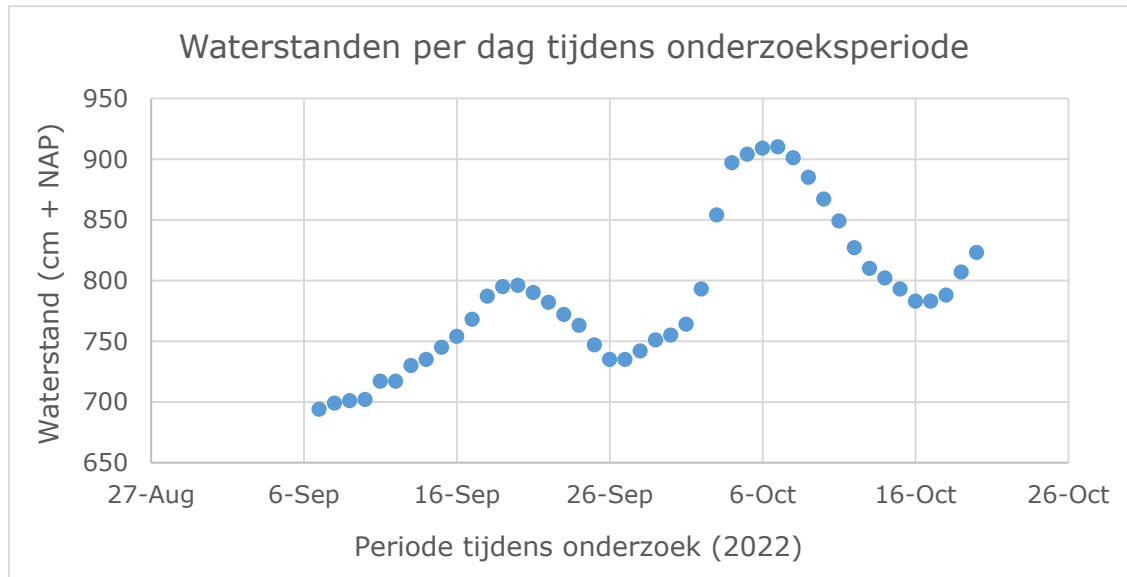
Tijdens het onderzoek zijn de kribvakken en kribben eenmalig doorlopen wat het overzicht van concentratie sanitaire doekjes binnen de kribvakken en op de kribben heeft opgeleverd. Om zeker te weten dat de gevonden patronen niet te maken hebben met tijdelijke omstandigheden of toeval, zou het onderzoek vaker uitgevoerd moeten worden. Toeval zou bijvoorbeeld mogelijk kunnen zijn door de invloed van menselijk optreden. Tijdens het onderzoek is gebleken dat op een aantal kribben gemaaid is (zie bijlage) en hebben enkele wandelaars op eigen initiatief afval opgeraapt binnen kribvakken.

Het huidige onderzoek is onder specifieke omstandigheden bij een lage waterstand uitgevoerd wat het lastiger maakt om dit opnieuw uit te voeren. De waterstand zorgde ervoor dat de kribvakken breed onderzocht konden worden zonder de invloed van vegetatie, wat het grootste gedeelte van het jaar niet kan. Verder is er onderzoek gedaan op de kribben door doekjes weg te halen die over de jaren zijn verzameld. Dit betekent dat een vergelijkbaar onderzoek niet weer binnen hetzelfde onderzoeksgebied kan worden uitgevoerd.

Bovendien is het huidige onderzoek niet exact te vergelijken met het onderzoek van Minnaar (2022) omdat zij onder andere omstandigheden heeft gemeten aan een ander proces. Hoewel de keuze van het huidige onderzoek goed te onderbouwen is, omdat op deze manier een nauwkeuriger proces van het aan- en wegspoelen van sanitaire doekjes kon worden waargenomen, is het belangrijk dat vervolg onderzoeken wel exact hetzelfde meten op goede conclusies te kunnen trekken.

Al met al is het dus belangrijk dat er een goed beschreven onderzoek wordt opgesteld dat vaker herhaald kan worden om de gevonden patronen goed te kunnen bevestigen.

Verder is het onderzoek uitgevoerd in een tijdspanne van vijf weken waarbij de waterstand tussendoor ook is gestegen en gedaald (figuur 28). Hoewel verschillende losse waterstanden op de meetdagen zijn meegenomen in het statistische onderzoek, is dit eigenlijk niet nauwkeurig genoeg om de invloed van de waterstand binnen de verschillende kribvakken voor de gevonden concentraties uit te sluiten. Grosfeld (2022) heeft belangrijk onderzoek gedaan naar het effect van een stijgende en dalende waterstand op concentratie sanitaire doekjes op korte termijn binnen kribvakken. Dit onderzoek zou vaker uitgevoerd moeten worden om de invloed van snelle en langzame, stijging en daling van de waterstand op de concentratie sanitaire doekjes te kunnen bepalen. Als er algemene waarden voor het concentratieverschil van doekjes bij een snelle en langzame, stijging en daling van de waterstand worden gevonden, kan dat erg nuttig zijn. Er kan dan meer rekening worden gehouden met het effect van de waterstand op de gevonden ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes binnen de kribvakken. In het huidige onderzoek was niet duidelijk welke doekjes wanneer waren aangespoeld.



Figuur 28: Fluctuaties van de waterstand tijdens de onderzoeksperiode.

Om de invloed van lokale riooloverstorten volledig uit te sluiten moeten overstortfrequenties en overstortvolumes van de lokale riooloverstorten worden verzameld. Verder moet er ook onderzoek gedaan worden naar de algemene overstortfrequentie in Duitsland en het percentage sanitaire doekjes per volume overstort zoals dat ook voor Nederland is gedaan.

Het effect van scheepvaart op de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes zou in het vervolg onderzocht kunnen worden, mocht het essentieel zijn om zeker te weten. Om conclusies te trekken is het noodzakelijk om in kaart te brengen wat de bijdrage is van de scheepvaart (o.a. cruiseschepen) in de vorm van puntbronnen. Verder is ook de aanbeveling om te bepalen of de scheepvaart inderdaad de oorzaak is voor het verschil in concentratie sanitaire doekjes op de verschillende oevers. Hiervoor moet methode worden opgesteld die dit effect goed kan bevestigen. Technologie zoals camera's of gps tracers zouden mogelijk meer duidelijkheid kunnen verschaffen.

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om meer te weten te komen over de invloed van lokale riviereigenschappen op de ruimtelijke verdeling van sanitaire doekjes in de Waal bij verschillende situaties (afvoeren, aanspoelprocessen). Door de lage waterstand was het mogelijk om de invloed van lokale riviereigenschappen op de ruimtelijke verspreiding van twee verschillende processen te identificeren (zie tabel 2). Aan de ene kant kon worden gekeken welke factoren invloed hebben op de depositie en mobilisatie van sanitaire doekjes binnen kribvakken zonder dat vegetatie dit proces beïnvloedde. Aan de andere kant kon worden geïdentificeerd welke factoren invloed hebben op de verspreiding van sanitaire doekjes bij hoogwater door te kijken naar de door vegetatie gevangen doekjes op de kribben.

Voor zowel het onderzoek op de kribben op hoog water als het onderzoek binnen de kribvakken is aangetoond dat sanitaire doekjes significant meer zijn gevonden op de linkeroever dan de rechteroever. De invloed van lokale riooloverstorten zijn hierin zo goed als zeker uitgesloten. De verwachting is dat scheepvaart hier een grote invloed op heeft, al is dit in dit onderzoek niet bewezen. Binnen de kribvakken aan de rechteroever zijn significant lagere concentraties sanitaire doekjes gevonden in het bovenstroomse locatie ten opzichte van de overige locaties. Stromingspatronen binnen de kribvakken zouden een mogelijke verklaring kunnen zijn. De invloed van bochten en de waterstand op de concentratie sanitaire doekjes binnen de kribvakken zijn in dit onderzoek niet aangetoond. Herhaalbaar onderzoek binnen kortere tijdseenheden zijn nodig om de bovengenoemde variabelen volledig uit te sluiten.

Het onderzoek op de kribben heeft geresulteerd in een statistische positieve relatie tussen de hoeveelheid bramenstruiken en de concentratie sanitaire doekjes. Hoge aantallen sanitaire doekjes werden gevonden tussen bramenstruiken, maar waarbij bramenstruiken geen garantie gaven op hoge aantallen doekjes. Een interactie tussen 'Oever', 'Bocht' en 'Locatie binnen de bocht' is gevonden voor de analyse van de kribben bij hoogwater. Gevonden significante verschillen kunnen vermoedelijk gekoppeld worden aan secundaire circulatie (spiraalstroming) in bochten en de bijbehorende natuurlijk sedimentatie en erosie processen in de bochten.

Tabel 2: Statistisch aangetoonde variabelen per analyse aangegeven met '*'.

Variabelen	Analyse kribvakken	Analyse kribben
Oever	*	*
Bocht		*
Locatie binnen de bocht		*
Locatie krib(vak)	*	
Vegetatie (%)		
Waterstand		
Kribvakklasse		
Kribhoogte		
Bramenstruik (%)		*

Literatuurlijst

- Aalderink, H., Langeveld, J., Liefthing, E., & De Weme, A. (2009). *Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?* Stichting RIONED.
- Al-Zawaidah, H., Ravazzolo, D., & Friedrich, H. (2021). Macroplastics in rivers: present knowledge, issues and challenges. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(4), 535–552. <https://doi.org/10.1039/d0em00517g>
- Andrady, A. L. (2015). Persistence of Plastic Litter in the Oceans. *Marine Anthropogenic Litter*, 57–72. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_3
- Asselman, N., Buijse, T., Klijn, F., Mosselman, E., ten Cate, E., Jesse, P., Tijnagel, M., Veldman, H., Bijk, V., & Sieben, A. (2020). Het verhaal van de rijntakken. *Platform Rivierkennis van Rijkswaterstaat*.
- Barneveld, H. J. (2022). Hoe stoppen we bodemerosie op de Rijn? Rivierbodems zakken al sinds twee eeuwen. *Bodem*, (4), 28–30. <https://edepot.wur.nl/579970>
- Bathurst, J. C., Hey, R. D., & Thorne, C. R. (1979). Secondary flow and shear stress at river bends. *J. Hydraul. Div.* 1979, 105, 1277–1295.
- Besseling, E., Quik, J. T., Sun, M., & Koelmans, A. A. (2017). Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution*, 220, 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Best, J. (2019). Anthropogenic stresses on the world's big rivers. *Nature Geoscience*, 12(1), 7–21. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x>
- Boonstra, M., de Winter, W., & Schone rivieren. (2021). Afval hotspots in de Nederlandse rivierdelta. *Stichting De Noordzee*.
- Botturi, A., Ozbayram, E. G., Tondera, K., Gilbert, N. I., Rouault, P., Caradot, N., Gutierrez, O., Daneshgar, S., Frison, N., Akyol, A., Foglia, A., Eusebi, A. L., & Fatone, F. (2020). Combined sewer overflows: A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(15), 1585–1618. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1757957>
- Brombach, H., Weiss, G., & Fuchs, S. (2005). A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 51(2), 119–128. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0039>
- Butler, D., Digman, C., Makropoulos, C., & Davies, J. W. (2018). *Urban Drainage. Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1201/9781351174305>
- Collas, F. P. L., Oswald, S. B., & Verberk, W. C. E. P. (2021). Plastic in de waterkolom van de Boven-Rijn, Waal en IJssel. *Radboud Universiteit*.
- de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A. S., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental Science & Technology*, 53(10), 6044–6052. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- Deltares. (2017). *Emissieregistratie Afvalwaterketen*.
- Emmerik, T., & Schwarz, A. (2019). Plastic debris in rivers. *WIREs Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
- Europees Parlement. (2018, 16 april). *Het pakket circulaire economie: nieuwe EU-doelen voor recycling*. Geraadpleegd op 14 november 2022, van <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/headlines/society/20180410STO01426/het-pakket-circulaire-economie-nieuwe-eu-doelen-voor-recycling>
- Evenblij, H., Gorter, K., van Nieuwenhuijzen, A. F., & Keurhorst, T. (2007). Inventarisatie roosters en zeven in de communale afvalwaterbehandeling. In *STOWA* (ISBN 978.90.5773.375.8). STOWA. Geraadpleegd op 14 november 2022, van <https://www.stowa.nl/publicaties/inventarisatie-roosters-en-zeven-de-communale-afvalwaterbehandeling>

- Graaf, R. (2020, 20 april). *Mag dat: vochtig toiletpapier door de wc spoelen?* indebuurt Enschede. Geraadpleegd op 14 november 2022, van <https://indebuurt.nl/enschede/nieuws/opmerkelijk/mag-dat-vochtig-toiletpapier-door-de-wc-spoelen%7E98149/>
- H2O Actueel. (2022, 3 februari). *Schone Rivieren: Nederland is het afvalputje van Noordwest-Europa*. H2O/Waternetwerk. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/schone-rivieren-nederland-is-het-afvalputje-van-noordwest-europa>
- H2O Netwerk. (2019, 6 maart). *Peiling: wekelijks 10,5 miljoen billendoekjes in toilet*. H2O/Waternetwerk. Geraadpleegd op 14 november 2022, van <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/peiling-wekelijks-10-5-miljoen-billendoekjes-in-toilet>
- Haberstroh, C. J., Arias, M. E., Yin, Z., & Wang, M. C. (2020). Effects of hydrodynamics on the cross-sectional distribution and transport of plastic in an urban coastal river. *Water Environment Research*, 93(2), 186–200. <https://doi.org/10.1002/wer.1386>
- Hop, J. (2022). Meetsysteem plastic : monitoring plastic in de waterkolom. *ATKB*, 2, 20211623/001. https://puc.overheid.nl/doc/PUC_711728_31/2
- Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>
- Just a moment*. . . (z.d.-a). <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14008571>
- Just a moment*. . . (z.d.-b). <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14008571>
- Kasvi, E., Laamanen, L., Lotsari, E., & Alho, P. (2017). Flow Patterns and Morphological Changes in a Sandy Meander Bend during a Flood—Spatially and Temporally Intensive ADCP Measurement Approach. *Water*, 9(2), 106. <https://doi.org/10.3390/w9020106>
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE*, 13(4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- LANUV. (2015). Analyse der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken und Überwachung durch Online Messtechnik "Analyse van de prestaties van regenwateroverloopbekkens en monitoring door online meettechnologie". In *Analyse van de prestaties van regenwateroverloopbekkens en monitoring door online meettechnologie*.
- Liro, M., Emmerik, T. V., Wyzga, B., Liro, J., & Mikuś, P. (2020). Macroplastic Storage and Remobilization in Rivers. *Water*, 12(7), 2055. <https://doi.org/10.3390/w12072055>
- McIlgorm, A., Campbell, H. F., & Rule, M. J. (2011). The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management*, 54(9), 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.007>
- Milieu Centraal. (z.d.). *Wat mag door de gootsteen of wc?* Geraadpleegd op 14 november 2022, van <https://www.milieucentraal.nl/minder-afval/afval-scheiden/door-de-gootsteen-of-in-de-wc/>
- Ministerie van Algemene Zaken. (2022a, augustus 9). *Regels over wegwerpplastic*. Afval | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/regels-voor-wegwerpplastic>
- Ministerie van Algemene Zaken. (2022b, oktober 14). *Zwerfafval op land en in zee (plasticsoep)*. Afval | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/kunststofafval-in-zee-plastic-soep>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021a, juni 23). *Staatsblad 2021, 294 | Overheid.nl & Officiële bekendmakingen*. Overheid. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2021-294.html>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021b, oktober 21). *Kamerbrief over maatregelen tegen microplastics*. Kamerstuk | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/afval/documenten/kamerstukken/2018/06/04/maatregelen-gericht-op-het-voorkomen-van-microplastics>

- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, 2 augustus). *Waal - informatie en waterdata*. Rijkswaterstaat.
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/waal>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW), & Hadel, A. M. M. (2001). Kribben natuurlijk(er) : ecologische effecten van kribben op vegetatie, vissen en macrofauna. *PUC*, W-DWW-2001-009. https://puc.overheid.nl/doc/PUC_20437_31
- Minnaar, L. (2022). The spatial distribution of sanitary wet wipes on the riverbanks of the Waal. *Rijkswaterstaat*, PUC_721674_31.
- Moolenaar, S. (2017, 19 juni). "Elke dag gebeurt er wel iets op de Waal". *gelderlander.nl*.
<https://www.gelderlander.nl/nijmegen/elke-dag-gebeurt-er-wel-iets-op-de-waal~a302fc79/>
- Reeze, B., van Winden, A., Postma, J., Hop, J., & Liefveld, W. (2017). Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015. *Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie*. Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Rhoads, B. L., & Welford, M. R. (1991). Initiation of river meandering. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 15(2), 127–156. <https://doi.org/10.1177/030913339101500201>
- Rijksoverheid. (z.d.). *Afvoer*. Helpdesk water.
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/crisismanagement/begrippen/toelichting/afvoer/>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Zwerfafval in en langs rivieren*. Zwerfafval. Geraadpleegd op 14 november 2022, van
<https://zwerfafval.rijkswaterstaat.nl/areaal/rivieren/>
- Rijkswaterstaat. (2019). *Monitoring zwerfafval in, op en langs rivieren*. Zwerfafval.
<https://zwerfafval.rijkswaterstaat.nl/monitoring-zwerfafval-langs-rivieren/>
- Rioned. (z.d.). *Soorten riolering - RIOOLINFO*. <https://www.riool.info/soorten-riolering>
- RIONED. (2019, 5 maart). *Doekjesproblematiek*. Geraadpleegd op 14 november 2022, van
<https://www.riool.net/doekjesproblematiek>
- Rus, M. (2022). The Spatial Distribution of Meso- and Macroplastics in the River Rhine. In *Rijkswaterstaat* (PUC_721686_31). Rijkswaterstaat Oost-Nederland. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_721686_31/1/
- Schone Rivieren. (2020). *Position paper sanitaire wegwerpproducten*. <https://www.schonerivieren.org/kennisbank/sanitaire-artikelen/>
- Sieben, J. (2008). Taal van de rivierbodem: parameters voor morfodynamiek in rivieren. *Rijkswaterstaat, Waterdienst rapport nr WD 2008-049*.
- Sorber, A. (1997). Korrelgroot oeverafzettingen Waal. In *PUC*. Rijkswaterstaat.
- Sukhodolov, A., Ujttewaal, W. S. J., & Christof Engelhardt. (2002). On the correspondence between morphological and hydrodynamical patterns of groyne fields. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(3), 289–305.
<https://doi.org/10.1002/esp.319>
- Sylvester, Z., Durkin, P., & Covault, J. A. (2019). High curvatures drive river meandering. *Geology*, 47(3), 263–266.
<https://doi.org/10.1130/g45608.1>
- ten Brinke, W. B. M. (2003). De sedimenthuishouding van kribvakken langs de Waal. *Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA, rapport 2003.002*.
- ter Halle, A., Ladirat, L., Gendre, X., Goudouneche, D., Pusineri, C., Routaboul, C., Tenailleau, C., Duployer, B., & Perez, E. (2016). Understanding the Fragmentation Pattern of Marine Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5668–5675. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00594>
- Thompson, R. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1–2), 170–179.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>

- Uijttewaai, W. S. J. (2005). The Flow in Groyne Fields. *Water Quality Hazards and Dispersion of Pollutants*, 231–246.
https://doi.org/10.1007/0-387-23322-9_12
- Van der Wal, M., van der Meulen, M., Roex, E., Wolthuis, Y., Tweehuisen, G., & Vethaak, D. (2013). Plastic litter in the rivers Rhine, Meuse and Scheldt: Contribution to plastic waste in the North Sea. *Deltares*, 1205955-006-ZWS-0006.
- van Emmerik, T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., & Schreyers, L. (2022). Rivers as Plastic Reservoirs. *Frontiers in Water*, 3. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>
- van Emmerik, T., & Vriend, P. (2021). Routekaart Zwerfafvalmonitoring Nederlandse rivieren. In https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_633155_31/ (ISBN 9789463956604). Wageningen University & Research. Geraadpleegd op 14 november 2022, van https://puc.overheid.nl/doc/PUC_633155_31/1
- Vella, D. (2015). Floating Versus Sinking. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47(1), 115–135. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010814-014627>
- Vierwind, A. (2021). *Onderzoek naar de inhoud van de vuilfuik® op locatie Steenwijk en Soest* (Nr. NL21-648800269–8107). Sweco. Geraadpleegd op 14 november 2022, van https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_703677_31/1
- Vuren, S. V., Vriend, H. J. D., Ouwerkerk, S., & Kok, M. (2005). Stochastic Modelling of the Impact of Flood Protection Measures Along the River Waal in the Netherlands. *Natural Hazards*, 36(1–2), 81–102.
<https://doi.org/10.1007/s11069-004-4543-x>
- Weinstein, J. E., Crocker, B. K., & Gray, A. D. (2016). From macroplastic to microplastic: Degradation of high-density polyethylene, polypropylene, and polystyrene in a salt marsh habitat. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(7), 1632–1640. <https://doi.org/10.1002/etc.3432>
- Wilken, R. D. (2005). The Recovered Rhine and Its History. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 47–87.
https://doi.org/10.1007/698_5_036
- Windsor, F. M., Tilley, R. M., Tyler, C. R., & Ormerod, S. J. (2019). Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Science of The Total Environment*, 646, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.271>
- Yossef, M. F. (2002). The effect of groynes on rivers: Literature review. *Delft Cluster publicatienummer 03.03.04*.

Bijlage

Linkje met Excel sheet voor op puc.overheid.nl